



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E  
ENGENHARIA DE ALIMENTOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
QUÍMICA**

**ESTUDOS E MODELAGEM DA QUALIDADE DA  
ÁGUA DO RIO PAPAQUARA**

**ALEXANDRE BACH TREVISAN**

**FLORIANÓPOLIS-SC**

**2011**



**ALEXANDRE BACH TREVISAN**

**ESTUDOS E MODELAGEM DA QUALIDADE DA  
ÁGUA DO RIO PAPAQUARA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Leonel Teixeira Pinto

Florianópolis-SC

2011



# **Estudos e Modelagem da Qualidade da Água do Rio Papaquara**

Por

**Alexandre Bach Trevisan**

Dissertação julgada para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Química**, área de Concentração de **Desenvolvimento de Processos Químicos e Biotecnológicos**, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina.

---

Prof. Dr. Leonel Teixeira Pinto  
**Orientador**

---

Prof. Dr. Leonel Teixeira Pinto  
**Coordenador**

## **Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Hugo Moreira Soares

---

Dr<sup>a</sup>. Janaina Karine Andreazza

---

Dr. José Luciano Soares

**Florianópolis, 21 de junho de 2011**



## **Agradecimentos**

Ao NEUROLAB, em especial ao professor Leonel pela compreensão, confiança e apoio durante todo o mestrado.

A CASAN, particularmente aos funcionários do Laboratório de Esgotos da Região Metropolitana da Grande Florianópolis e aos colegas da área ambiental da Companhia por todas as conversas e discussões que enriqueceram este trabalho.

A minha família, Dag, Zezo, Anna, Cema, Donato, Lylla, Zé e Anita pelo amor, suporte e carinho.

A todos os profissionais que atuam e militam na área ambiental que trabalham em favor de um mundo melhor e buscam o desenvolvimento no sentido amplo e justo, respeitando a natureza e todos os seus seres.





## **Resumo**

A bacia hidrográfica do rio Papaquara, localizada no norte da Ilha de Santa Catarina, é responsável pela drenagem de diversos bairros do município com elevada taxa de ocupação. Suas águas correm naturalmente em direção a uma importante unidade de conservação. Na região estão instaladas duas estações de tratamento de efluentes domésticos, porém nem toda a área está contemplada com sistema de coleta destes esgotos. Recentes investimentos estão sendo realizados para tentar abranger toda a área com a coleta dos esgotos visando promover melhorias do ponto de vista sanitário e ambiental da região. Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre as condições atuais dos recursos hídricos da bacia do Papaquara e realiza a modelagem da qualidade da água ao longo do rio, considerando as cargas poluidoras que são lançadas de forma difusa ao longo do trajeto do rio. As simulações foram conduzidas utilizando as equações propostas do modelo Qual-UFMG implementado em planilhas eletrônicas do Microsoft Excel. Medições de campo ao longo de todo o curso do rio principal foram utilizadas para ajustar o modelo às condições encontradas. Os resultados apontam para a melhoria da qualidade das águas do rio com o aumento da cobertura de coleta e tratamento de esgotos na região e apresenta o percentual de atendimento a padrões de qualidade desejados para o curso de água.

Palavras chave: modelagem ambiental, rio Papaquara, CASAN, ETE Canasvieiras, qualidade da água, autodepuração, QUAL2E.



## **Abstract**

The Papaquara River basin, located in the north of Santa Catarina Island, drains various districts with high occupancy and population. The main river flows within an important protected area. Two sewage treatment effluents plants are installed in the region, but not the entire area is covered with sewage collection and treatment system. Recent investments are being made to collect the sewage in hole area to promote improvements in terms of public health and environmental preservation in the region. This paper presents a case study on the current conditions of the Papaquara basin and performs the modeling of water quality of the river, increasing diffuse pollution loads related to the physical and occupation characteristics of different areas along the watercourse. The simulations were conducted using the equations of the model-QUAL-UFGM implemented in Microsoft Excel spreadsheets. Field measurements throughout the course of the main river were used to adjust the model to the conditions observed. The result shows that the quality of river water improves by increasing the coverage of sewage collection and treatment in the region and presents the percentage of service quality standards desired for the waterway.

**Keywords:** environmental modeling, river Papaquara, CASAN, ETE Canasvieiras, water quality, self-purification, QUAL2E.



## Simbologia

	ANA – Agência Nacional de Águas
	B – Largura do Rio
	CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
	$C_i$ – Concentração
	$C_i^{\text{sat}}$ – Concentração de Saturação
	CF – Coliformes Fecais
	CT – Coliformes Totais
	CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
	COT – Carbono Orgânico Total
	D – Déficit de Oxigênio
	DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
	DQO – Demanda Química de Oxigênio
	DNOS – Departamento Nacional de Obras e Saneamento
	EE – Estação Elevatória
	ESEC – Estação Ecológica
	ETE – Estação de Tratamento de Esgotos
	ETE CANAS – Estação de Tratamento de Esgotos de
Canasvieiras	ETE VU – Estação de Tratamento de Esgotos da Vila União
	$f_{\text{NITR}}$ – fator de conversão de $k_{\text{AN}}$ em função da BAIXA
concentração de Oxigênio Dissolvido	
	H – Profundidade do Rio
	i – Declividade do Rio
	L – DBO Remanescente
	$L_{\text{dif}}$ – DBO remanescente oriunda das cargas difusas
	$k_a$ – Coeficiente de Aeração do Rio
	$k_{\text{AN}}$ – Coeficiente de conversão de Nitrogênio Amoniacal a
Nitrito	
	$k_d$ – Coeficiente de Desoxigenação do Rio
	$k_{\text{NN}}$ – Coeficiente de conversão de Nitrito a Nitrato.
	$k_s$ – Coeficiente de sedimentação
	IPUF – Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis
	IWA – International Water Association
	OD – Oxigênio Dissolvido
	pH – Potencial Hidrogenionico
	Q – Vazão
	$Q_{7,10}$ – Vazão Mínima Média de 7 Dias Consecutivos com
Período de Retorno de 10 Anos	
	$Q_{90}$ – Vazão Média Mensal Excedida em 90% do Tempo

$Q_{95}$  – Vazão Média Mensal Excedida em 95% do Tempo  
 $Q_{esp}$  – Vazão Específica da Bacia Hidrográfica  
 $Q_{média}$  – Vazão Média de Esgotos  
 $QMLT$  – Vazão Média de Longo Termo do Rio  
 $Q_{per\ capita}$  – Vazão de Esgotos Produzida Por Habitante  
 $R$  – Coeficiente de Retorno de Esgotos  
 $R_{O_2}^{AMON}$  – Relação entre a massa de oxigênio consumido por cada unidade de massa de Amônia oxidada a Nitrito  
 $R_{O_2}^{NITRI}$  – Relação entre a massa de oxigênio consumido por cada unidade de massa de Nitrito oxidada a Nitrato  
 $SAL$  – Salinidade da Água  
 $SDS$  – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Sustentável  
 $SES$  – Sistema de Esgotamento Sanitário  
 $SNIS$  – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento  
 $T$  – Temperatura  
 $t$  – Tempo  
 $UASB$  – Upflow Anaerobic Sludge Blanket  
 $UEP$  – Unidade Espacial de Planejamento  
 $v$  – Velocidade do Rio  
 $y$  – DBO Exercida

## Sumário

<b>1. Introdução.....</b>	<b>21</b>
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>25</b>
2.1 Objetivo Geral .....	25
2.2 Objetivos Específicos .....	25
<b>3. Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>27</b>
3.1 Parâmetros de Qualidade das Águas.....	27
3.1.1 Parâmetros Físicos .....	28
3.1.2 Parâmetros Químicos .....	29
3.1.3 Parâmetros Biológicos .....	34
3.1.4 Características do Esgoto Doméstico .....	35
3.1.5 Legislação Sobre os Padrões de Qualidade da Água.....	40
3.2 Hidrologia.....	43
3.2.1 Ciclo Hidrológico.....	43
3.2.2 Bacia Hidrográfica .....	46
3.2.3 Vazões dos Cursos de Água.....	47
3.2.4 Regionalização de Vazões.....	49
3.3 Caracterização da Área.....	50
3.3.1 Histórico da Área .....	50
3.3.2 Bacia Hidrográfica do Rio Ratonas.....	51
3.3.3 Sub-Bacia do Rio Papaquara.....	52
3.3.4 Sistema de Esgotamento Sanitário de Canasvieiras .....	55
3.4 Auto-Depuração de Rios.....	58
3.4.1 Modelos de OD/DBO.....	61
<b>4. Materiais e Métodos .....</b>	<b>71</b>
4.1 Características Topográficas.....	71
4.2 Avaliação da Disponibilidade de Água.....	73
4.3 Avaliação da Qualidade da Água.....	73
4.4 Modelagem da Qualidade da Água.....	81
4.4.1 Estimativa dos Valores de $k_a$ e $k_d$ .....	83
<b>5. Resultados e Discussão.....</b>	<b>85</b>
5.1 Estimativa de Vazões.....	85
5.2. Calibração do Modelo.....	92
5.3 Cenários Simulados .....	94
5.4 Comparação dos Cenários .....	100
<b>6. Conclusões.....</b>	<b>107</b>
<b>7. Sugestões para Próximos Trabalhos.....</b>	<b>111</b>
<b>8. Referências Bibliográficas .....</b>	<b>113</b>





## Lista de Figuras

Figura 1 Curva de oxigênio consumido ao longo do tempo em um ensaio de DBO. ....	31
Figura 2 Formas de nitrogênio encontradas ao longo de um curso de água. ....	33
Figura 3 Modelo de hidrograma da produção de esgotos.....	37
Figura 4 Esquematização dos fenômenos que compõe o Ciclo Hidrológico. ....	45
Figura 5 Fluviograma identificando estação seca e chuvosa.....	48
Figura 6 Lay out da bacia do rio Papaquara em 1938, antes das alterações promovidas pelo DNOS. ....	54
Figura 7 Lay out da bacia do rio Papaquara em 1978, após as alterações promovidas pelo DNOS. ....	54
Figura 8 Área atendida pelo SES Canasvieiras. ....	56
Figura 9 Lay out da ETE Canasvieiras.....	57
Figura 10 Zonas de autodepuração em um curso de água após lançamento pontual de efluentes. ....	60
Figura 11 Comportamento das espécies ao longo de um curso de água com lançamento pontual de efluentes. ....	61
Figura 12 Esquema do ciclo do oxigênio na água.....	62
Figura 13 Curva progressão da DBO exercida e remanescente com o tempo.....	65
Figura 14 Faixa de valores para as equações da estimativa do $k_a$ .....	68
Figura 15 Altitudes observadas ao longo do rio Papaquara. ....	72
Figura 16 Pontos analisados por BRETANO et al (2008).....	74
Figura 17 Temperatura ao longo do rio Papaquara. ....	75
Figura 18 Salinidade ao longo do rio Papaquara.....	76
Figura 19 Fósforo ao longo do rio Papaquara.....	76
Figura 20 pH ao longo do rio Papaquara.....	76
Figura 21 Oxigênio dissolvido ao longo do rio Papaquara. ....	77
Figura 22 DBO ao longo do rio Papaquara. ....	77
Figura 23 Coliformes termotolerantes ao longo do rio Papaquara. ....	77
Figura 24 Pontos de avaliados no monitoramento executado pela CASAN. ....	79
Figura 25 Pontos de avaliados por SOCIOAMBIENTAL, 2004. ....	81
Figura 26 Divisão Política dos Distritos de Florianópolis – Norte da Ilha. ....	86
Figura 27 Trechos do rio Papaquara considerados na modelagem. ....	92
Figura 28: Resultado da modelagem de OD (linha azul) com os dados medidos em campo (pontos vermelhos). ....	94

Figura 29: Resultado da modelagem aplicada ao cenário 1 da ETE de Canasvieiras.....	95
Figura 30: Resultado da modelagem aplicada ao cenário 2.....	96
Figura 31: Resultado da modelagem aplicada ao cenário 3.....	96
Figura 32: Resultado da modelagem aplicada ao cenário 4.....	97
Figura 33: Resultado da modelagem de DBO aplicada ao cenário 5.....	98
Figura 34: Resultados esperados de OD e DBO para a mistura das águas dos rios Rationes e Papaquara.....	100
Figura 35: Resultados observados para DBO nos diferentes cenários simulados .....	103
Figura 36: Resultados observados para Oxigênio Dissolvido nos diferentes cenários simulados .....	104
Figura 37: Cenário de Calibração .....	105
Figura 38: Cenário 1 .....	105
Figura 39: Cenário 2 .....	106
Figura 40: Cenário 3 .....	106
Figura 41: Cenário 4 .....	106
Figura 42: Cenário 5 .....	106

## Lista de Tabelas

Tabela 1 Contribuições de Fósforo em Redes de Drenagem.....	34
Tabela 2 Contribuições de Fósforo no Esgoto Doméstico Bruto. ....	34
Tabela 3 Características gerais dos esgotos brutos.....	38
Tabela 4 Constituição do esgoto doméstico bruto.....	39
Tabela 5 Principais Características do Efluente Depurado em Sistemas de Tratamento de Esgotamento Sanitário.....	40
Tabela 6 Tipos, Classes e Usos dados a água.....	41
Tabela 7 Valores de $k_d$ observados em rios.....	65
Tabela 8 Valores de $k_a$ observados em rios.....	67
Tabela 9 Relações para a estimativa de $k_a$ .....	67
Tabela 10 Equações para estimativa do coeficiente $k_a$ , de MELCHING e FLORES (1999) .....	69
Tabela 11 Médias das análises realizadas por BRETANO et al (2008).....	75
Tabela 12 Dados médios do monitoramento da CASAN na região do Papaquara .....	80
Tabela 13 Dados médios do monitoramento da SOCIOAMBIENTAL na região do Papaquara .....	80
Tabela 14 Resultados da aplicação do estudo de regionalização de vazões da SDS.....	85
Tabela 15 Estimativa Populacional dos Distritos de Canasvieiras e Cachoeira do Bom Jesus .....	87
Tabela 16 População fixa por UEP a ser atendida pelo SES Canasvieiras .....	88
Tabela 17 Vazão sanitária em L/s estimada por UEP a ser atendida pelo SES Canasvieiras .....	89
Tabela 18 Vazão sanitária em L/s para os cinco cenários .....	90
Tabela 19: Trechos do rio Papaquara .....	90
Tabela 20 Valores utilizados na calibração do modelo proposto por trecho.....	93
Tabela 21: Concentrações esperadas para o exutório do rio Papaquara.....	99



## **1. Introdução**

A crescente pressão antrópica sobre os ecossistemas litorâneos ocasiona sérios impactos, resultando não só na degradação do meio natural, como também na degradação social, econômica e cultural das comunidades tradicionais destas áreas (La Corte, 2001 APUD FUNKE 2009).

Novas metrópoles que sofrem o processo de urbanização desordenado percebem os reflexos dos usos, por vezes indevidos, dos seus recursos naturais através das catástrofes naturais e em especial da poluição gerada por estas ocupações desestruturada.

Um dos maiores problemas ambientais dos dias atuais é a poluição dos recursos hídricos (rios, lagos, lagoas e oceanos). Essa poluição, além do desconforto ambiental, trás problemas de ordem econômica, em especial em regiões que possuem no turismo uma forma de obtenção de riquezas, tornando desta forma a preservação da qualidade das águas naturais e o controle de sua poluição um importante passo na formação de cidades saudáveis ambientalmente.

O estado de Santa Catarina é considerado um dos mais desenvolvidos do ponto de vista econômico, sendo o turismo, em especial o turismo de balneário, uma atividade crescente e em franco desenvolvimento no estado, haja vista a larga dimensão do litoral catarinense. Este desenvolvimento, porém não é observado quando são analisados índices de saneamento ambiental do estado. Segundo dados do SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, em 2008 o Brasil apresentava 34,6% de sua população atendida com coleta e tratamento de esgotos. A região sul apresentava 31,1% da população atendida. De acordo com dados do setor de planejamento e informações da CASAN em 2011 Santa Catarina apresentava 16% da população urbana atendida com o serviço e, em Florianópolis estes valores atingem 55%.

O distrito de Canasvieiras, localizado no norte da ilha de Santa Catarina, na margem direita do rio Papaquara, uma dos principais cursos de água da bacia hidrográfica do rio Ratonas, foi uma das primeiras regiões a possuir coleta e tratamento coletivo de esgotos em Florianópolis, demanda que foi gerada pelos próprios moradores e proprietários dos imóveis no local devido aos freqüentes eventos de poluição registrados na praia, o que estava deslocando o turismo e desvalorizando as propriedades, além de representar um risco para a saúde dos freqüentadores da praia. O rio Papaquara é o curso de água que recebe o lançamento dos efluentes tratados na estação de tratamento

de efluentes (ETE) de Canasvieiras, indo desembocar no rio Ratones. Esta região possui seu sistema de coleta e tratamento de esgotos instalado desde 1995. Este sistema está atualmente passando por obras de ampliação sendo previsto um aumento da capacidade da ETE e da cobertura de rede coletora abrangendo primeiramente as localidades da Cachoeira do Bom Jesus, Ponta das Canas e Lagoinha, e posteriormente Vargem do Bom Jesus, Praia Brava, Jurerê e Daniela. Este aumento da cobertura e por consequência da quantidade de esgotos depurados na ETE de Canasvieiras é tratado neste trabalho na forma de cenários que vão evoluindo de forma gradativa, de acordo com a previsão de investimentos da CASAN na região.

Além da cobertura e do tratamento dos esgotos é importante observar a correta disposição destes esgotos tratados nos corpos de água de forma a garantir a qualidade e manutenção do uso destas águas. A legislação brasileira classifica os corpos de água de acordo com os seus usos e indica padrões ambientais que devem ser atingidos na forma de metas intermediárias e progressivas. No Brasil também existem padrões de emissão para efluentes líquidos e a associação entre estes padrões com os de qualidade da água, devem garantir que os lançamentos de efluentes não comprometam os usos e a qualidade destes corpos de água.

O problema se dá quando os corpos de água já estão comprometidos e devem ser tomadas atitudes que recuperem a qualidade destes. Estas atitudes em áreas urbanas normalmente apresentam custos elevados e passam pela instalação de estações de tratamento de esgotos. Neste caso devem ser realizadas análises que prevejam a melhoria esperada dos cursos de água, para que, de forma progressiva, os padrões de qualidade da água dos rios sejam atingidos e mantidos. Neste sentido, além de coletar e tratar os esgotos é preciso verificar a real influência do lançamento destes esgotos visando avaliar a capacidade de autodepuração nos cursos de água, promovendo a gestão deste recurso hídrico contemplando todos os usos previstos para o mesmo.

Para avaliar os possíveis impactos destes lançamentos ao longo dos rios, a modelagem matemática vem sendo utilizada como ferramenta de prognóstico das condições ambientais da qualidade dos corpos de água, considerando determinadas condições para os efluentes lançados e para os corpos receptores destes efluentes, visando a garantia e manutenção dos usos preponderantes da água, otimizando os gastos a ser realizados em obras, garantindo que estes investimentos tragam efetivamente retorno ao meio ambiente.

Este trabalho apresenta os resultados da modelagem da qualidade da água do rio Papaquara em condições médias, considerando a população residente na região, com os esgotos tratados na ETE de Canasvieiras e confronta os resultados do modelo com o diagnóstico atual da água do rio, observando as etapas de implantação da rede coletora. A qualidade da água do rio Papaquara em especial no seu exotório no rio Ratones é de especial interesse para a manutenção do ambiente de manguezal protegido que lá existe, sendo a coleta de esgotos na região fundamental para este fim.





## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo Geral**

Simular a qualidade das águas do rio Papaquara em condições médias, observando os cenários de aumento de cobertura da coleta de esgotos na região.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar um diagnóstico atual das águas do Papaquara com dados bibliográficos de levantamentos da região;
- Implementar um modelo de qualidade das águas, que contemple, além das fontes pontuais, a poluição difusa da região, estimada pelas características do uso e ocupação do solo;
- Avaliar se o lançamento dos efluentes da ETE Canasvieiras, nos seus cenários futuros piora a qualidade da água do rio Papaquara e, por conseguinte do rio Ratonés dentro da Estação Ecológica dos Carijós;
- Avaliar os resultados sob o ponto de vista das metas de qualidade para enquadramento do curso de água.



### **3. Revisão Bibliográfica**

#### **3.1 Parâmetros de Qualidade das Águas.**

A composição natural das águas é influenciada diretamente pelas características geográficas da região em que este corpo hídrico está inserido e pelo uso que é dado à água através da ação antrópica. As características geográficas da região, tais como composição do solo, tipo de vegetação, influenciam as condições naturais das águas, com o aporte de materiais característicos nos solos que são lixiviados ou carregados pelas chuvas, pelo afloramento natural de águas subterrâneas e pelo derretimento de geleiras. As condições antrópicas estão ligadas aos diversos usos dados ao solo e ao recurso hídrico, como por exemplo, a utilização do solo em diferentes culturas agrícolas, a ocupação e o crescimento de adensamentos urbanos, e usos industriais. A relação entre estas duas influências é o que determina as características e a composição resultante das águas em uma região, sendo os parâmetros usuais de controle da qualidade das águas divididos em três grandes grupos: Parâmetros Físicos, Químicos e Biológicos.

De acordo com ROCHA (2004) nem todos os problemas relacionados à qualidade da água são devido a impactos causados pela atividade humana. Metais presentes na litosfera podem ciclar no ambiente como resultado da atividade geológica, incluindo ação vulcânica, atividades hidrotérmicas e longos períodos chuvosos. Porém é indiscutível que a atividade humana interfere na qualidade das águas de forma considerável, sendo a poluição por matéria orgânica devido à ocupação humana um dos principais problemas ambientais do mundo.

Torna-se impossível a determinação de todos os componentes das águas, devido à grande quantidade e pequenas concentrações de alguns dos constituintes, desta forma foram submetidos à International Water Association (IWA) diversos índices de qualidade da água baseados em alguns dos constituintes mais comuns e representativos que são comumente observados nas águas.

Estes constituintes normalmente apresentam seus valores de referência explícitos em Tabelas constantes do arcabouço legal que regulamenta as questões ambientais nos diversos níveis, nacional, estadual e municipal, sendo estes baseados em estudos nacionais e internacionais sobre a toxicidade destes contaminantes a biota aquática e a influência sobre a saúde humana.

Os parâmetros usuais de controle da qualidade das águas podem ser divididos em três grandes grupos: Parâmetros Físicos, Químicos e Biológicos.

### 3.1.1 Parâmetros Físicos

O potencial hidrogeniônico, (pH) indica a o balanço entre as espécies alcalinas e ácidas do meio. Interferências no pH das águas naturais são normalmente devido aos sólidos e aos gases dissolvidos na água.

Naturalmente esses sólidos e gases podem ser oriundos da dissolução das rochas, da fotossíntese de seres vivos, da oxidação da matéria orgânica natural, como folhas restos de vegetais e animais e da absorção de gases presentes na atmosfera através de trocas na interface entre a água e a atmosfera.

O despejo de efluentes, principalmente industriais, é a principal causa antrópica de variações bruscas de pH nas águas. Em Santa Catarina, na antiga região carbonífera, a deposição dos rejeitos de carvão no solo atingiu de forma contundente os rios da região devido à lixiviação deste material, disposto de forma incorreta na época, gerando a morte de grande parte dos rios da região.

Valores de pH afastados da neutralidade (pH entre 6 e 8) afetam a vida aquática, além de prejudicar o tratamento da água para consumo humano e o uso na agricultura.

A temperatura das águas naturais é influenciada pelas condições climáticas da região, profundidade e velocidade do curso de água devido às alterações nas taxas de transferência de calor entre o meio e a água. O lançamento de efluentes industriais e de águas de caldeira e de sistemas de refrigeração é o principal fator antropogênico de alterações observadas na temperatura dos corpos hídricos. A temperatura afeta a velocidade das reações químicas e bioquímicas na água, alterando as velocidades específicas das reações, sendo um importante fator para ser avaliado na modelagem de corpos de água.

A análise de sólidos é uma das mais utilizadas na caracterização de águas de abastecimento e residuárias. Por sólidos se entende todo material dissolvido ou em suspensão que depois de submetido a uma temperatura de 105°C permanece na amostra, após a água ter evaporado. O teor de sólidos pode expressar de forma indireta a quantidade de material orgânico e inorgânico de uma parcela de amostra. Diferentes determinações podem dar indicações quantitativas absolutas e relativas dos materiais componentes da água, podendo dividir estes sólidos em

orgânicos e inorgânicos, solúveis e insolúveis e sedimentáveis e não sedimentáveis.

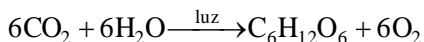
### 3.1.2 Parâmetros Químicos

A concentração de Oxigênio Dissolvido (OD) na água é de fundamental importância para a regulação da fauna do corpo hídrico, em especial para os organismos de maior porte, como peixes, crustáceos, moluscos e mamíferos. Este é um dos principais parâmetros para a análise do grau de contaminação dos corpos de água. A ausência de OD ou sua presença em pequenas quantidades diminui a biodiversidade nos corpos de água, potencializando a presença de microorganismos anaeróbios que no processo de decomposição da matéria orgânica presente na água produz maus odores. A deposição de esgotos domésticos ou industriais com altos teores de matéria orgânica é o principal fator de diminuição das concentrações de oxigênio dissolvido nos corpos de água.

A presença natural de OD nas águas ocorre principalmente devido a dissolução do oxigênio atmosférico na interface líquido-gás entre o corpo de água e a atmosfera, até sua saturação. Na fase aquosa dois processos são os responsáveis pelo transporte do oxigênio dentro da massa de água. Nos corpos hídricos mais lentos predomina o processo de difusão molecular, processo este bastante lento que requer muito tempo para que o oxigênio atinja as camadas mais profundas da massa de água.

Em corpos de água mais turbulentos existe a criação de diversas pequenas interfaces entre as fases líquida e gasosa, aumentando a aeração, com a criação e renovação das interfaces freqüentes. Esse mecanismo de difusão turbulenta é observado devido às condições hidrodinâmicas do recurso hídrico, podendo ser desconsiderada a difusão molecular no caso de rios com grandes corredeiras e baixas profundidades. A diferença local e temporal entre a concentração de oxigênio dissolvido na água e a concentração de saturação nas condições do ambiente é usualmente chamada de déficit de oxigênio. Este déficit é a força motriz do processo de trocas de matéria entre as fases líquida e gasosa

De forma secundária a presença de organismos fotossintetizantes, associadas luz aporta oxigênio na fase clara do processo de fotossíntese, porém este oxigênio em parte é consumido na fase escura do processo.



**Equação  
1**

A concentração do oxigênio depende também da temperatura, já que esta afeta a solubilidade do gás no meio líquido. A concentração de oxigênio também varia de acordo com a profundidade. Em regiões mais próximas ao fundo a concentração de OD é menor quando comparada a superfície devido à resistência imposta pela espessura da camada de líquido entre as fases líquidas e gasosa, onde efetivamente ocorrem as trocas. O consumo do oxigênio dissolvido no meio líquido se dá principalmente devido a oxidação da matéria orgânica presente na água, através da ação de microorganismos heterotróficos aeróbios.

A matéria orgânica depositada nos sedimentos também consome localmente o oxigênio dissolvido no fundo da fase líquida, para estabilização destes compostos orgânicos. A esse consumo é dado o nome de demanda bentônica. Também são observados processos de oxidação das formas nitrogenadas presentes na água, convertendo os compostos amoniacais até a forma de nitrato, fenômeno esse chamado de nitrificação.

O excesso de matéria orgânica presente nos corpos de água é o principal problema de poluição das águas, causando o consumo do oxigênio dissolvido disponível na água nos processos metabólicos dos microorganismos para a estabilização da matéria orgânica. Segundo Von Sperling (2007) os principais componentes orgânicos são os compostos de proteínas, os carboidratos, a gordura e os óleos, além da uréia, surfactantes, fenóis, pesticidas e outros em menor quantidade.

Em geral não é necessária a caracterização da matéria orgânica em termos dos teores de proteínas, carboidratos, etc, devido às dificuldades em se realizar tais determinações em laboratório.

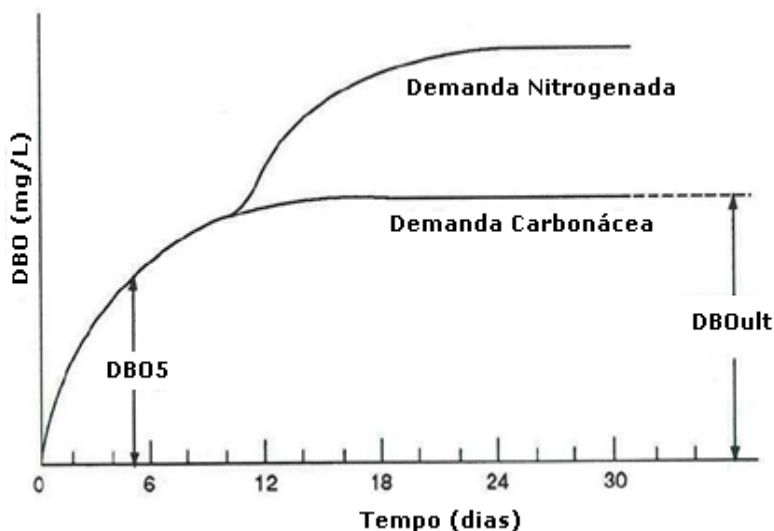
Usualmente são realizadas medições do consumo de oxigênio na decomposição da matéria orgânica como indicadores da quantidade de material disponível, através de relações estequiométricas, como por exemplo, a equação de decomposição aeróbia da glicose.



**Equação  
2**

Os principais indicadores utilizados são a Demanda Química do Oxigênio (DQO) que indica a quantidade de oxigênio consumida durante a oxidação química da matéria orgânica na presença de dicromato, e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que indica a

quantidade de oxigênio necessária para oxidar biologicamente a matéria orgânica sob condições padrão. Segundo SCHIMIDELL et al (2007), uma curva típica da concentração da matéria orgânica consumida ao longo do tempo do ensaio pode ser verificada na Figura 1.



**Figura 1** Curva de oxigênio consumido ao longo do tempo em um ensaio de DBO.

Fonte: CORBITT (1997) – adaptado.

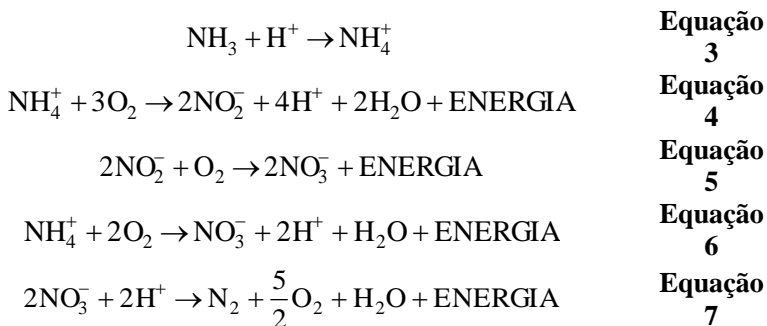
Observam-se nesta curva que os microorganismos aeróbios autotróficos também estão presentes e consomem oxigênio em seu metabolismo sem consumir a matéria orgânica interferindo no resultado final da determinação. Esses microorganismos autotróficos utilizam o  $\text{CO}_2$  dissolvido como fonte de carbono para seu crescimento e crescem mais vagarosamente do que as bactérias heterotróficas aeróbias. A presença destes microorganismos pode ser diagnosticada na parte superior da curva indicada como demanda nitrogenada. Para evitar este efeito a fim de obtermos apenas a demanda referente ao carbono é que a determinação da DBO é realizada após cinco dias de incubação, não dando tempo suficiente para que a degradação ocorra completamente.

Segundo VON SPERLING (2007) o conceito de DBO, representando tanto a matéria orgânica quanto o consumo de oxigênio pode ser estendido e avaliado por dois ângulos distintos. O primeiro do ponto de vista da DBO remanescente, que indica a matéria orgânica que

permanece na massa líquida em um dado instante. Por outro lado podemos observar a DBO exercida que indica o oxigênio consumido para estabilizar a matéria orgânica. No início toda a concentração total da DBO é expressa como DBO remanescente, à medida que o tempo vai passando parte da matéria orgânica vai sendo consumida (DBO exercida) e o consumo de oxigênio vai aumentando com a queda da DBO remanescente.

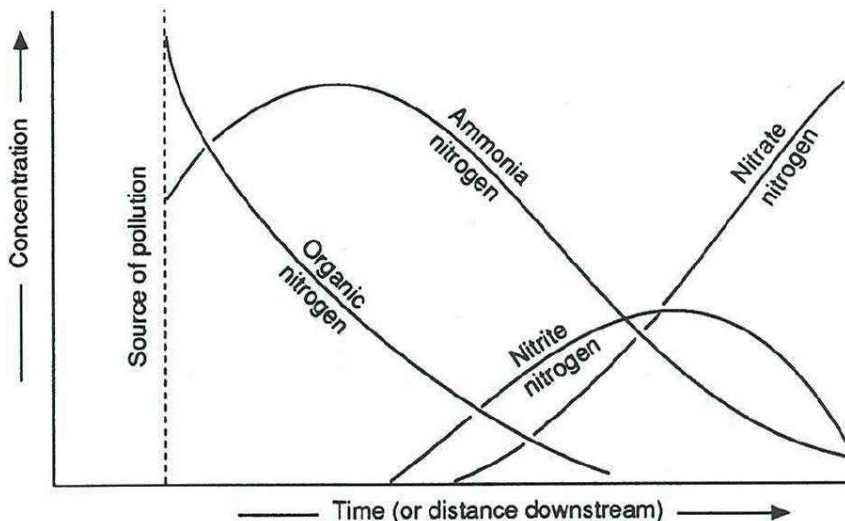
Na água o nitrogênio pode se apresentar de diferentes formas: nitrogênio molecular, nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato. As trocas com a atmosfera e os constituintes celulares, como proteínas e vários outros compostos biológicos. A disposição de esgotos sanitários e industriais, além da lixiviação dos excrementos de animais em pastagens e dos fertilizantes são os componentes antropogênicos da presença das diversas formas de nitrogênio nos corpos de água.

O nitrogênio é elemento indispensável para o crescimento de algas e microorganismos nas águas e seu excesso potencializa a eutrofização dos corpos de água. Dependendo das concentrações e das condições ambientais as diferentes formas de nitrogênio vão se convertendo umas nas outras, conforme as reações químicas (equações 3 – 7).



As concentrações das diferentes formas de nitrogênio também vão se modificando ao longo de um curso de água à medida que essa matéria vai sendo estabilizada pelos microorganismos presentes na água, conforme a Figura 2.





**Figura 2 Formas de nitrogênio encontradas ao longo de um curso de água.**

Fonte CORBITT (1997)

A origem natural do fósforo nas águas naturais se dá através da dissolução de rochas, da lixiviação do solo, da decomposição da matéria orgânica e da composição celular dos organismos presentes, muito embora o elemento seja relativamente escasso na crosta terrestre.

A ação do homem conduz o aporte do fósforo nas águas naturais principalmente devido aos despejos de efluentes domésticos e industriais, detergentes e da drenagem de áreas rurais de culturas que utilizam fertilizantes, além dos excrementos animais em especial de abatedouros e aviários.

O fósforo não é encontrado na atmosfera e sua eliminação da fase aquosa passa pela sedimentação e incorporação deste elemento na fase sólida. Este fato permite que em épocas de baixas concentrações de fósforo na água, parte do fósforo do sedimento entre em suspensão e aporte novamente na fase aquosa.

Em determinados ambientes o fósforo é o nutriente que limita a proliferação de algas e outros organismos, e seu excesso pode causar a eutrofização dos ambientes aquáticos com baixas velocidades, gerando problemas estéticos, florações de algas tóxicas ou não, distúrbios com insetos, eventuais maus odores e mortandade de peixes.

O fósforo pode se apresentar na água na forma de ortofosfatos complexados ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ), polifosfatos presentes nos detergentes ( $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ,  $\text{H}_3\text{P}_2\text{O}_7$ ,  $\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$ ,  $\text{HP}_2\text{O}_7^{3-}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ ) e fósforo de origem orgânica (húmus, fosfatases, fosfopeptídeos).

As tabelas 1 e 2, apresentam valores típicos da literatura das faixas e concentrações de fósforo em redes de drenagem com diversos tipos de usos das áreas a montante e de contribuições referentes ao lançamento de esgotos domésticos brutos nas suas diferentes formas, respectivamente.

**Tabela 1 Contribuições de Fósforo em Redes de Drenagem.**

Fonte	Tipo de Área	Valores Típicos e Faixas	
		Faixa Usual	Valores Típicos
Drenagem	Matas e Florestas	1 a 100	10
	Agrícolas	10 a 500	50
	Urbanas	10 a 1000	100

Fonte: VON SPERLING (2007)

**Tabela 2 Contribuições de Fósforo no Esgoto Doméstico Bruto.**

Parâmetro	Contribuição Per Capita (g/hab.dia)		Concentração (mg/L)	
	Faixa	Típico	Faixa	Típico
Fósforo Total	0,7 – 2,5	1,0	4 – 15	7
Fósforo Orgânico	0,2 – 1,0	0,3	1 – 6	2
Fósforo Inorgânico	0,5 – 1,5	0,7	3 – 9	5

Fonte: VON SPERLING (2007)

Os valores de fósforo observados nos esgotos brutos tratados pela CASAN em Florianópolis, usualmente se apresentam bem maiores que as concentrações típicas apresentadas na literatura.

### 3.1.3 Parâmetros Biológicos

Normalmente os microorganismos associados aos padrões de qualidade da água estão relacionados a seres que possam indicar a presença de organismos potencialmente causadores de doenças de veiculação hídrica.

Os organismos indicadores mais utilizados são as bactérias do grupo coliformes, que são classificadas em coliformes totais e coliformes fecais. No grupo dos coliformes fecais a *Eschericia coli* é

atualmente um dos indicadores mais utilizados, embora seja crescente a detecção de estreptococos fecais e sua utilização como padrão de qualidade sanitária e ambiental.

Os microorganismos indicadores em si não transmitem doenças, porém são úteis na detecção da contaminação fecal de origem animal, devido a sua grande concentração nas fezes de animais de sangue quente, esta sim capaz de conter microorganismos transmissores de doenças, caso a população em questão possua indivíduos contaminados.

Segundo VON SPERLING (2007), estima-se que de  $\frac{1}{3}$  a  $\frac{1}{5}$  da massa que constitui as fezes humanas sejam de coliformes e que de  $10^9$  a  $10^{12}$  células por dia destes organismos sejam excretados por cada indivíduo por dia.

Diversas epidemias já ocorreram por conta da contaminação de origem fecal. As que tiveram mais destaque foram às epidemias de cólera no fim do século XIX e a peste na Europa durante a idade média.

Dentre as principais doenças de veiculação hídrica podemos citar, além das citadas anteriormente, algumas diarreias e disenterias, além da giardíase, da febre tifóide, da leptospirose, da amebíase, da hepatite infecciosa, da ascaridíase, da teníase, da cisticercose e da esquistossomose.

Os coliformes são bons indicadores da contaminação por bactérias e vírus, porém não são tão eficazes na indicação de protozoários e helmintos.

A origem dos organismos patogênicos na água está diretamente ligada à ocupação humana e refletem o nível de saúde da população.

Os organismos patogênicos ainda podem ser de origem animal, principalmente de animais domésticos ou oriundos da criação de animais na bacia hidrográfica.

### 3.1.4 Características do Esgoto Doméstico

Os impactos da poluição por esgotos em um curso d'água dependem diretamente da composição do efluente e das características e capacidade de autodepuração deste curso.

O lançamento de esgotos domésticos em um corpo hídrico pode causar vários efeitos, tais como, problemas estéticos, contaminação por patógenos, consumo de oxigênio, mortandade de peixes, condições sépticas e maus odores, espumas, crescimento excessivo de algas e plantas, entre outros.

Conforme JORDÃO e PESSOA (1995) o esgoto doméstico *in natura* compreende as águas residuárias produzidas em atividades como

banhos, descargas em banheiros (fezes e urina), papel, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem.

A produção de esgotos acontece basicamente em residências, edifícios comerciais, instituições e em quaisquer outras edificações que possuam instalações de banheiros, cozinhas e lavanderias.

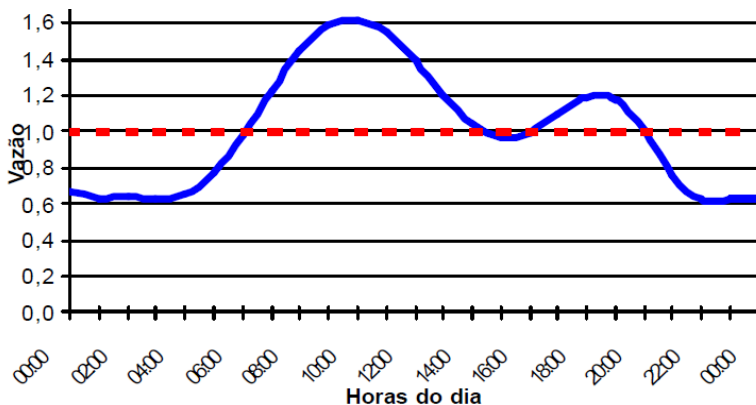
Pode-se estimar a quantidade de esgoto produzida através de uma relação com o volume de água fornecida. A fração da água fornecida que adentra a rede de coleta de esgoto é denominada coeficiente de retorno (R: vazão de esgoto / vazão de água). Os valores típicos de R variam de 60% a 100%, sendo que um valor usualmente adotado é de 80% ou, R = 0,8 (VON SPERLING, 1996).

O cálculo da vazão doméstica média,  $Q_{\text{média}}$  de esgoto é dado por:

$$Q_{\text{média}} = \frac{\text{População} \cdot Q_{\text{per capita}} \cdot R}{86400} \quad \text{Equação 8}$$

Onde  $Q_{\text{per capita}}$  é a contribuição dada em termos de consumo de água por pessoa por dia [L/hab.dia] e pode ser obtida a partir de dados medidos do fornecimento de água e de determinada região. Estes valores variam de 120 L/hab.dia a 300 L/hab.dia e mudam de acordo com as características sociais da população abastecida. O parâmetro R é o coeficiente de retorno de esgotos, e aponta quanto da água que foi distribuída pela rede retorna ao sistema de águas servidas. A população utilizada deve ser a contribuinte daquele sistema. O fator 86400 corresponde ao número de segundos em um dia para que o resultado seja apresentado em L/s.

A produção dos esgotos não é constante ao longo do dia, sendo identificados horários de pico e de queda brusca da vazão dos esgotos em uma estação de tratamento, conforme apontado na Figura 3, que apresenta um hidrograma característico de uma estação de tratamento de esgotos, com os horários de pico coincidentes com o período de almoço e jantar.



**figura 3 Modelo de hidrograma da produção de esgotos.**

Segundo VON SPERLING (1996), aproximadamente 99,9% da constituição dos esgotos sanitários é representada por água, o restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microorganismos. Deste modo apenas 0,1% das partes constituintes dos esgotos domésticos é que geram poluição e necessitam tratamento. Os esgotos domésticos possuem características diferentes relacionadas à população que gera estes efluentes e ao sistema de coleta que realiza este serviço.

Uma ampla faixa de concentrações pode ser observada para os componentes do esgoto bruto, que dependem basicamente de detalhes construtivos e de projeto, como por exemplo, a vazão de infiltração ao longo da rede e o comprimento e o tempo de permanência dos esgotos nos sistemas de transporte e estações de bombeamento intermediárias.

As tabelas 3 e 4 apresentam estimativas da constituição dos esgotos domésticos em seus principais parâmetros na forma de contribuição por habitante e concentração.

**Tabela 3 Características gerais dos esgotos brutos**

Parâmetro		Contribuição per capita [g/hab.dia]		Concentração [mg/L]	
		Faixa	Típico	Faixa	Típico
Sólidos	Totais	120 – 220	180	700 – 1350	1100
	Suspensão	35 – 70	60	200 – 450	400
	- Fixos	7 – 14	10	40 – 100	80
	- Voláteis	25 – 60	50	165 – 350	320
	Dissolvidos	85 – 150	120	500 – 900	700
	- Fixos	50 – 90	70	300 – 550	400
	- Voláteis	35 – 60	50	200 – 350	300
	Sedimentáveis			10 – 20	15
Matéria Orgânica	DBO <sub>5</sub>	40 – 60	50	200 – 500	350
	DQO	80 – 130	100	400 – 800	700
	DBO <sub>última</sub>	60 – 90	75	350 – 600	500
	COT	30 – 60	45	170 – 350	250
Nutrientes	N <sub>total</sub>	6 – 112	8,0	35 – 70	50
	N <sub>organico</sub>	2,5 – 5,0	3,5	15 – 30	20
	N <sub>amoniacal</sub>	3,5 – 7,0	4,5	20 – 40	30
	N <sub>nitrito</sub>	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	N <sub>nitrato</sub>	0 – 0,5	≈ 0	0,2	≈ 0
	P <sub>total</sub>	1,0 – 4,5	2,5	5 – 25	14
	P <sub>organico</sub>	0,3 – 1,5	0,8	2 – 8	4
	P <sub>inorganico</sub>	0,7 – 3,0	1,7	4 – 17	10
Outros	pH			6,5 – 8,0	7,5
	Alcalinidade	20 – 30	25	110 – 170	140
	Cloretos	4 – 8	6	20 – 50	35
	Óleos e Graxas	10 – 30	20	55 – 170	110

Fonte: SOARES (2007)

METCALF e EDDY (1979) apresentam os dados de forma semelhante, porém caracterizando os esgotos brutos como forte, médio ou fraco e apresenta as concentrações esperadas, conforme a Tabela 4.

**Tabela 4 Constituição do esgoto doméstico bruto.**

Constituinte	Concentração [mg/L]		
	Forte	Médio	Fraco
Sólidos Totais	1200	720	350
Sólidos Dissolvidos Totais	850	500	250
Sólidos Dissolvidos Fixos	525	300	145
Sólidos Dissolvidos Voláteis	325	200	105
Sólidos Suspensos	350	220	100
Sólidos Suspensos Fixos	75	55	20
Sólidos Suspensos Voláteis	275	165	80
Sólidos Sedimentáveis [mL/L]	20	10	5
DBO <sub>5</sub>	400	220	110
COT	290	160	80
DQO	1000	500	250
Nitrogênio Total	85	40	20
Nitrogênio Orgânico	35	15	8
Nitrogênio Amoniacal	50	25	12
Nitrito	0	0	0
Nitrato	0	0	0
Fósforo Total	15	8	4
Fósforo orgânico	5	3	1
Fósforo inorgânico	10	5	3
Cloretos	100	50	30
Alcalinidade em CaCO <sub>3</sub>	200	100	50
Graxas	150	100	50

Fonte: METCALF e EDDY (1979)

Diferentes tipos e níveis de depuração são utilizados no Brasil e no mundo para o tratamento dos esgotos domésticos. Essa variabilidade se dá devido às diferentes características de cada região, como por exemplo, temperatura do ar, a área disponível para as instalações e as exigências legais de cada localidade.

A Tabela 5 apresenta as concentrações esperadas dos principais constituintes do esgoto doméstico depois de submetidos aos diferentes tipos de tratamento.

**Tabela 5 Principais Características do Efluente Depurado em Sistemas de Tratamento de Esgotamento Sanitário**

Sistema de Tratamento	Qualidade Esperada p/ o Efluente		
	DBO [mg/L]	SST [mg/L]	N – NKT [mg/L]
Lodo Ativado <small>(alta taxa)</small>	≤ 30	≤ 30	≥ 20
Lodo Ativado <small>(convencional)</small>	≤ 20	≤ 30	≤ 5
Lodo Ativado <small>(aeração prolongada)</small>	≤ 20	≤ 40	≤ 5
Lagoa Aerada + Lagoa de Decantação	≤ 30	≤ 40	≥ 20
UASB + Lodo Ativado <small>(alta taxa)</small>	≤ 30	≤ 30	≥ 20
UASB + Lodo Ativado <small>(convencional)</small>	≤ 20	≤ 30	≤ 5
UASB + Filtro Biológico Percolador	≤ 30	≤ 30	≥ 20
UASB + Biofiltro Aerado Submerso	≤ 30	≤ 30	≥ 20
UASB + Lagoa Aerada + Lagoa de Decantação	≤ 30	≤ 40	≥ 20
UASB + Flotação com Ar Dissolvido	≤ 30	≤ 30	≥ 20

Fonte: ALÉM SOBRINHO (2006)

### 3.1.5 Legislação Sobre os Padrões de Qualidade da Água

A legislação ambiental brasileira começa a se desenvolver nos anos 60 baseada em legislações importadas de outros países, como por exemplo, o Canadá. A partir do ano de meados dos anos 80, com a estruturação do Conselho Nacional de Meio Ambiente, surgem as primeiras resoluções deste órgão que contemplam as questões relacionadas à qualidade da água. No final dos anos 90 é introduzida a política nacional de recursos hídricos que trás a água como um bem de todos, com múltiplos usos que devem ser garantidos e preservados para as futuras gerações.

A legislação brasileira prevê a classificação das águas superficiais (Rios, Lagos, Lagoas e Mares) em classes que devem ser definidas com base nos usos que pretendem ser dados para a água.

A Resolução CONAMA 357/2005 agrupa as águas superficiais em três grandes grupos relacionados à salinidade apresentada por essas águas:

- *Água Doce: Salinidade < 0,5 ‰*
- *Água Salobra: Salinidade entre 0,5 e 30 ‰*
- *Água Salgada: Salinidade > 30 ‰*



Os usos que podem ser dados a água regem sua classificação. Para cada classe existem diferentes usos. Para a garantia destes usos múltiplos as águas devem apresentar determinadas características e sua composição deve ser limitada em determinados parâmetros que possam vir a afetar ou no extremo, impossibilitar determinados usos para aqueles corpos de água. De acordo com os usos de interesse as águas são enquadradas em 13 grupos, conforme apresentado na Tabela 6.

**Tabela 6 Tipos, Classes e Usos dados a água**

Tipo de Água	Classe	Usos
Doce	Especial	a) abastecimento para consumo humano, com desinfecção; b) preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; c) preservação dos ambientes aquáticos em UC de proteção integral.
	1	a) abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; b) proteção das comunidades aquáticas; c) recreação de contato primário, d) irrigação de hortaliças que são consumidas cruas, e) proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
	2	a) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) proteção das comunidades aquáticas; c) recreação de contato primário; d) irrigação de produtos com os quais o público possa vir a ter contato direto; e) aquicultura e à atividade de pesca.
	3	a) abastecimento para consumo humano, após tratamento avançado; b) irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) pesca amadora; d) recreação de contato secundário; e) dessedentação de animais.
	4	a) navegação; b) harmonia paisagística.
Salobra	Especial	a) preservação dos ambientes aquáticos em UC de proteção integral; b) preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
	1	a) recreação de contato primário; b) proteção das comunidades aquáticas; c) aquicultura e à atividade de pesca; d) abastecimento para consumo humano após tratamento avançado; e) irrigação de hortaliças e de frutas que sejam ingeridas cruas, parques, jardins, campos de esporte e lazer.

Classe		Usos
Salgada	2	a) pesca amadora; b) recreação de contato secundário.
	3	a) navegação; e b) harmonia paisagística.
	Especial	a) preservação dos ambientes aquáticos em UC de proteção integral; b) preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
	1	a) recreação de contato primário; b) proteção das comunidades aquáticas; c) aquíicultura e à atividade de pesca.
	2	a) pesca amadora; b) recreação de contato secundário
	3	a) navegação; b) harmonia paisagística.

Qualquer atividade que utilize as águas deve verificar seu enquadramento e adotar medidas para que os efluentes que serão lançados nestes corpos hídricos não prejudiquem sua qualidade a ponto de desclassificar o corpo de água.

A mesma resolução CONAMA 357/2005, em seus artigos 32 e 33, afirma que o lançamento de efluentes deve preservar a qualidade do corpo hídrico após a mistura completa dos efluentes introduzindo o conceito de uma zona de mistura, região que o órgão ambiental pode autorizar, levando em conta o tipo de substância, valores em desacordo com os estabelecidos para a respectiva classe de enquadramento, desde que não comprometam os usos previstos para o corpo de água. No início de 2011 foi editada uma nova resolução do CONAMA, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementando e alterando a Resolução no 357/2005. A CONAMA 430/2011 cria novos parâmetros de lançamento e diferencia os efluentes provenientes de estações de tratamento de esgotos sanitários dos demais. Segundo a nova resolução os esgotos domésticos tratados podem ser lançados com DBO 5 dias, 20°C: máxima de 120 mg/L, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso do sistema de tratamento apresentar eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento deste.

O Estado de Santa Catarina também possui sua legislação local quanto que versa quanto aos parâmetros de lançamento de efluentes líquidos. A Lei Estadual 14.675/2009 diz em seu artigo 177 que os efluentes somente podem ser lançados direta ou indiretamente nos corpos de água interiores, lagoas, estuários e na beira-mar quando obedecidas às condições previstas nas normas federais e as que seguem

em seus doze incisos. Um destes incisos se refere a DBO 5 dias, 20°C, que segundo esta lei estadual deve ser no máximo de 60 mg/l, sendo que este limite somente pode ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento biológico de água residuária que reduza a carga poluidora em termos de DBO 5 dias, 20°C do despejo em no mínimo 80%. Esta legislação ainda prevê que os efluentes líquidos, além de obedecerem aos padrões gerais nela estabelecidos, não devem conferir ao corpo receptor características em desacordo com os critérios e padrões de qualidade de água, adequado aos diversos usos previstos para a água. Desta forma o Estado de Santa Catarina apresenta padrões ambientais mais restritivos aos nacionais, porém os padrões catarinenses são mais genéricos e não fazem distinção da tipologia do efluente.

### 3.2 Hidrologia

O conhecimento das variáveis que alteram o fluxo das águas sobre todo o planeta, ou sobre uma região específica, é de fundamental importância para o entendimento dos fenômenos associados ao ciclo das águas.

Por ser um dos recursos naturais mais utilizados pelo homem, o domínio e o conhecimento sobre a água vem ganhando cada vez mais importância, o que transformou nos últimos anos a hidrologia, inicialmente uma ciência estritamente teórica uma ferramenta aplicada, segundo TUCCI e SILVEIRA (2009), voltada para diferentes problemas oriundos da utilização das águas, preservação do meio ambiente e ocupação do solo.

O entendimento das variáveis que compõem o ciclo da água, conhecido como ciclo hidrológico, associado às boas prática de ocupação de regiões contribuintes dos cursos de água, denominadas de bacias hidrográficas são fundamentais para a aplicação e utilização de modelos de qualidade da água.

O regime de vazões imposto aos rios e córregos está diretamente relacionado com eventos meteorológicos de chuvas e suas distribuições ao longo das estações do ano são de fundamental importância para o entendimento dos diferentes tipos de vazões que podem ser associados a um curso de água.

#### 3.2.1 Ciclo Hidrológico

TUCCI e SILVEIRA (2009) afirmam que o ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre os

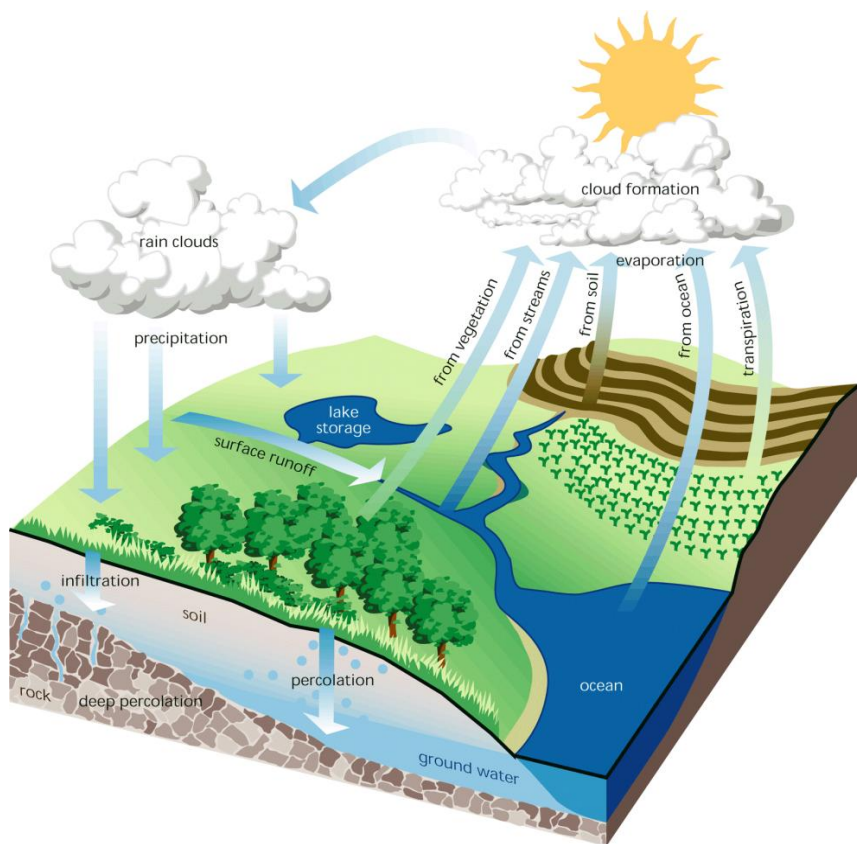
compartimentos ambientais atmosfera e superfície terrestre, que possui como força motriz a energia solar associada às forças gravitacionais e ao movimento de rotação do planeta.

Ainda segundo estes autores as trocas entre estes compartimentos ocorre nos dois sentidos. No sentido superfície-atmosfera o fluxo de água ocorre principalmente na forma de vapor, devido à evaporação da água disponível e a transpiração de seres vivos. No sentido inverso, em termos globais as maiores trocas se dão através das precipitações (chuvas, orvalho, geadas e nevascas).

O ciclo hidrológico só é fechado no nível global, já que o volume evaporado em uma região do planeta pode ser carregado pela atmosfera e precipitar em outras áreas da Terra. Quanto menor a área considerada, mais aberto é o ciclo hidrológico local, já que se tornam cada vez mais evidentes a desuniformidade com que a energia solar atinge a superfície dos continentes e dos oceanos, as variabilidades dos tipos de solos e das coberturas vegetais apresentadas e as diferenças nas dinâmicas atmosféricas devido à influência das variáveis meteorológicas e astronômicas de rotação e inclinação do eixo do planeta que gera as estações do ano.

De acordo com TUCCI e SILVEIRA (2009) pode-se iniciar a descrição do ciclo hidrológico através do vapor d'água presente na atmosfera, que de acordo com as condições meteorológicas pode condensar e formar micro gotículas de água que ficam em suspensão e vão se agrupando e agregando outras partículas presentes até que seja formado um aerossol chamado de nuvem ou nevoeiro. Com a continuação do processo de aglutinação das partículas e das gotículas presentes nas nuvens são formadas grandes quantidades de gotas com tamanho e peso suficiente para superar as forças de turbulência atmosférica que mantém a suspensão dessas gotas gerando o fenômeno da precipitação. A precipitação mais comum ocorre no estado líquido, através das chuvas, porém quando o vapor d'água é transformado diretamente em cristais de gelo a precipitação pode ocorrer na forma de neve ou granizo. No trajeto de queda em direção a superfície da Terra a precipitação já sofre evaporação parcial, chegando ao extremo de serem observadas situações em que a precipitação é totalmente evaporada antes mesmo de chegar à superfície. Quando a precipitação cai em uma região com cobertura vegetal, parte da água sofre um fenômeno denominado interceptação pelas folhas e caules, de onde parte dessa água evapora e retorna para a atmosfera. A água que atinge a superfície do planeta pode seguir por diversos caminhos. Devido à porosidade do solo, parte da precipitação que o atinge realiza um fenômeno chamado

de infiltração, até que a saturação do solo seja atingida. A umidade presente no solo é aproveitada em parte pelos vegetais que absorvem a água pelas raízes e a devolvem a atmosfera, na forma de vapor d'água, através do processo de transpiração. O que não é utilizado pelos vegetais segue percolando pelo solo, contribuindo para os aquíferos e para o escoamento de base dos rios, córregos e arroios.



**Figura 4 Esquemática dos fenômenos que compõe o Ciclo Hidrológico.**

Fonte: <http://www.h2owell.com/images/hydrologic-cycle-big.png> acessado em 5/3/2011

O excesso de água precipitada não infiltrada nem interceptada se movimenta pela superfície no sentido das cotas mais elevadas em direção às cotas mais baixas dando origem ao fenômeno chamado de

escoamento superficial. Segundo TUCCI e SILVEIRA (2009) o escoamento superficial manifesta-se inicialmente na forma de pequenos filetes de água que se moldam ao micro relevo do solo. A erosão de partículas do solo pelos filetes em seus trajetos, aliada a topografia pré-existente, molda, por sua vez uma micro rede de drenagem efêmera que converge para a rede de cursos de água mais estável, formada por arroios e rios. Em regiões bastante vegetadas o escoamento superficial é dificultado pelos obstáculos naturais, sendo minimizada a erosão do terreno e o arraste do solo para os cursos d'água reduzindo o fenômeno do assoreamento desta rede de drenagem. Na maioria dos casos o destino da água escoada pela superfície é o oceano, neles a circulação é regida por uma série de fenômenos que envolvem as correntes marítimas, os ciclos de marés e os ventos. Em todo seu trajeto, e já nos oceanos, parte da água é evaporada fechando o ciclo. A Figura 4 apresenta uma descrição esquemática do ciclo hidrológico.

### 3.2.2 Bacia Hidrográfica

Segundo TUCCI e SILVEIRA (2009) a bacia hidrográfica é a área de captação natural da água que precipita e escoam em um conjunto de superfícies com delimitações topográficas e converge para um leito único de saída, na sua região de descarga final, denominada exutório.

Em uma bacia hidrográfica a precipitação que cai sobre as regiões mais elevadas, denominadas de vertentes, infiltra-se até a saturação enquanto as taxas de escoamento superficial crescem, desta forma as vertentes podem ser consideradas regiões produtoras de água em uma bacia hidrográfica. Esta água se direciona para a rede de drenagem, de acordo com o relevo da região, que segue em direção ao exutório da bacia.

Neste enfoque a rede de drenagem pode ser considerada um ente transportador da água. Alguns elementos da rede de drenagem possuem funções que variam de acordo com o período em questão, como por exemplo, as planícies de inundação, que em épocas de seca se comportam como regiões produtoras e em épocas de cheias se comportam como regiões transportadoras de água.

A mesma analogia feita para a água serve para os materiais particulados na bacia hidrográfica, com as vertentes sendo a região produtora de sedimentos com a rede executando a função de transportá-los ao longo da bacia.

Seguindo este ponto de vista a bacia hidrográfica pode ser vista como um sistema onde a entrada de água se dá através da precipitação e

a saída de água do sistema a quantidade de água que escoar através do exutório. Como perdas intermediárias são consideradas as quantidades evaporadas, transpiradas e infiltradas em grandes profundidades, conforme apresentado na Equação 9, sendo o termo  $\frac{dM}{dt}$  a variação da massa de água dentro da bacia, que corresponde à quantidade que está sendo transportada ao longo da bacia por escoamento superficial e pelos cursos de água.

$$M_{\text{precipitada}} + M_{\text{exutorio}} - M_{\text{transpirada}} - M_{\text{infiltrada}} - M_{\text{evaporada}} = \frac{dM}{dt} \quad \text{Equação 9}$$

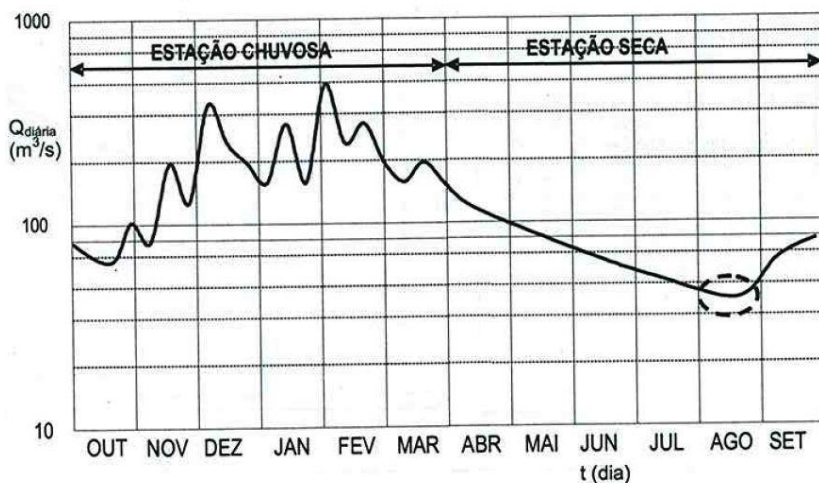
### 3.2.3 Vazões dos Cursos de Água

A vazão de um rio é resultado de uma complexa interação entre os diferentes processos envolvidos no armazenamento e transporte de material dentro do ciclo hidrológico. Três tipos de escoamento combinados geram os elementos que compõem a vazão de um rio. O escoamento superficial é resultado da precipitação efetiva sobre a área da bacia. Este escoamento possui as maiores velocidades de transporte apresentando o menor tempo de resposta entre o evento da precipitação e seu reflexo no curso de água. O escoamento sub-superficial é referente à água infiltrada que escoar pela região não saturada do solo. Este escoamento apresenta as resistências naturais do transporte de líquidos em meios porosos, naturalmente mais lento. O escoamento de base é gerado pela água que infiltra em grandes profundidades e aflora na forma de recarga promovida pelos aquíferos. Normalmente este escoamento se dá em regime laminar, levando semanas ou até meses para contribuir com a vazão de um rio.

Usualmente a vazão dos rios é medida através de estações fluviométricas, através de linígrafos, que determinam a cota da lâmina de água convertendo este valor em vazão por meio de uma análise das características de velocidade observadas em uma seção conhecida do rio. Para esta calibração é necessária a determinação de curvas específicas para cada curso de água, denominadas curvas chave. Estas curvas devem ser realizadas contemplando diversas medições em campo ao longo de diferentes períodos do ano com suas características de precipitação.

No Brasil existe uma rede de informações gerenciada pela Agência Nacional de Águas (ANA) que disponibiliza os dados da rede de estações fluviométricas instaladas no país. A rede conta com mais de 20.000 estações que monitoram os principais rios brasileiros, porém os dados de cada estação são referentes ao trecho específico em que o equipamento está instalado e a enorme maioria trechos de rios não possui uma estação instalada. De posse destes dados é possível a determinação de uma curva denominada fluviograma, que apresenta as variações de nível, e por analogia da vazão, de um determinado trecho de um rio ao longo do ano.

Devido às variações sazonais naturais da ocorrência das chuvas os rios apresentam vazões variáveis em diferentes períodos, desta forma são definidos alguns critérios e conceitos que explicitam diferentes valores de vazões para um mesmo curso de água. A Figura 5 apresenta o exemplo de um fluviograma anual de um rio, deixando claras as oscilações que ocorrem nos períodos de cheias e caracterizando o período de seca.



**Figura 5 Fluviograma identificando estação seca e chuvosa.**

Fonte VON SPERLING (2007).

Como pode ser observado no fluviograma acima, de acordo com a época do ano um corpo hídrico apresenta diferentes valores de vazão. Somado a isso se tem o fato de que em diferentes anos, devido à dinâmica natural do planeta, o regime de chuvas também varia. Um dos fenômenos mais conhecidos que altera este regime é o El Nino. Estas



diferenças observadas devido às variações sazonais tornam necessária uma longa série de dados para que se possa quantificar com precisão as vazões mais importantes em um curso de água.

Para análises que deverão ser realizadas com as condições médias de um rio é definida a vazão média de longo termo (QMLT), que corresponde à média das vazões médias diárias de um determinado curso de água.

Para as situações de estiagem são definidas diversas vazões que fazem referência a diferentes períodos de retorno das chuvas ou diferentes freqüências que estas vazões podem ser superadas. Dentre estas as mais comuns são as vazões  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{7,10}$ . A  $Q_{90}$  e a  $Q_{95}$  fazem referência ao percentual que uma determinada vazão média pode ser observada, no caso específico 90% e 95%, respectivamente. Quando um rio apresenta  $Q_{90}$  de 200 l/s, significa dizer que em 90% do tempo é esperada uma vazão no rio é superior a 200 l/s e que em apenas 10% do tempo uma vazão inferior deverá ocorrer. O conceito da vazão  $Q_{7,10}$  é diferente e introduz a definição de período de retorno. Este período é o tempo médio, em anos, necessário para que ocorram vazões menores a um determinado valor. A  $Q_{7,10}$  pode ser entendida como o valor anual de menor média de sete vazões diárias consecutivas que pode se repetir em média a cada 10 anos. Assim a cada ano da série histórica se analisa as médias de sete dias consecutivos e se seleciona o menor valor. Esta vazão normalmente apresenta valores menores que a  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , sendo que em cursos d'água intermitentes normalmente a  $Q_{7,10}$  é igual a zero.

### 3.2.4 Regionalização de Vazões

Frequentemente não são encontrados registros de dados hidrológicos na maioria dos cursos de água, em especial nos trechos de rios em que os usos não significativos.

Para a estimativa de vazões neste caso é utilizado o artifício da regionalização de vazões. Este processo se baseia na extrapolação de dados hidrológicos, cartográficos e descritivos de regiões de interesse associadas a bacias de drenagem com características semelhantes. Em especial essas características dizem respeito à cobertura vegetal, ao relevo, a formação geológica, a distribuição climática e ao mapeamento das áreas.

Na aplicação de um estudo de regionalização de vazões é introduzido o conceito de descarga específica, que corresponde à vazão associada a cada unidade de área da bacia hidrográfica que contribui para a vazão total do curso d'água ( $l/s.km^2$ ), já que, quanto mais a

jusante em uma bacia, maior a área de contribuição e por consequência maiores as vazões esperadas.

A Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS) contratou o estudo de regionalização de vazões do estado de Santa Catarina e fez a divisão do estado em diversas regiões com características semelhantes, denominadas regiões homogêneas, desta forma, em determinado ponto da bacia hidrográfica, de acordo com o histórico de chuvas na região pode-se obter uma estimativa das diversas vazões correspondentes do corpo hídrico.

### 3.3 Caracterização da Área

A região norte da Ilha de Santa Catarina originalmente apresentava vastos manguezais e planícies de inundação e sofreu ao longo da segunda metade do século XX diversas interferências e modificações em seu estado natural para permitir a ocupação do solo com atividades agro-pastoris e, posteriormente, para promover infraestrutura para o desenvolvimento das atividades turísticas. Com o fim de preservar o manguezal do Ratones, foi criada em julho de 1987 a Estação Ecológica dos Carijós (ESEC), unidade de conservação federal de proteção integral. Por se tratar de uma unidade de conservação situada em uma área bastante urbanizada, a ESEC Carijós realiza trabalhos para verificar as causas e as medidas que deveriam ser tomadas para a redução da poluição na região, com vistas a preservar o ambiente do manguezal.

A qualidade da água do rio Ratones e de seus afluentes é de especial interesse para a manutenção deste ambiente sensível, sendo a coleta de esgotos na região fundamental para este fim.

#### 3.3.1 Histórico da Área

De acordo com FIDELIS FILHO (1997) o Norte da Ilha de Santa Catarina começou a ser ocupado a partir de 1737, por forças militares portuguesas. Devido à sua localização estratégica aos olhos da coroa portuguesa, a região recebeu fortificações militares, dentre as quais podemos citar a Fortaleza do Forte ou São João da Ponta Grossa, com intuito de proteger e preservar as fronteiras marítimas dos territórios portugueses no Novo Mundo. A ocupação militar do local, posteriormente possibilitou a vinda de cerca de 6000 imigrantes portugueses de origem açoriana. A população açoriana que passou a ocupar o norte da ilha possuía grandes tradições pesqueiras, que

possibilitou sua fácil adaptação não só nesta localidade, como por todo o litoral de Santa Catarina.

Junto ao norte da Ilha de Santa Catarina, por influência do governador Manoel Escudeiro Ferreira de Souza, os imigrantes açorianos passaram a viver nas localidades de Canasvieiras, Cachoeira do Bom Jesus, Vargem do Bom Jesus, Vargem Grande, Vargem Pequena, Jurerê, Daniela, Ponta Grossa, Ratones, localizadas na bacia hidrográfica do Rio Ratones. Desde sua ocupação até o surgimento da estrutura urbana na década de 1950, as atividades econômicas na bacia do Rio Ratones constituíam-se basicamente em atividades do setor primário, tais como, a pesca, a pecuária e a agricultura comercial e de subsistência. Havia também a exploração madeireira, onde a madeira de lei encontrada nas matas da bacia era utilizada na fabricação de embarcações e nos engenhos. O Rio Ratones, constituiu importante papel no desenvolvimento da região na época da colonização, servindo de meio de navegação para o escoamento dos produtos derivados das atividades econômicas da localidade até meados da década de 1950.

Atingindo-se o fim da primeira metade do século XX, o extinto órgão DNOS (Departamento Nacional de Obras de Saneamento) iniciou uma série de obras na região. Estas obras constituíram-se na retificação dos rios principais, abertura de canais e valas de drenagem e a instalação de comportas para evitar os avanços da maré por sobre a bacia, que segundo relatos de moradores e políticos da época, prejudicava a agricultura e criação de gado, atividades de grande importância na economia local.

### 3.3.2 Bacia Hidrográfica do Rio Ratones

O Rio Ratones é o principal e maior rio de Florianópolis, com sua bacia hidrográfica apresentando 88,32 km<sup>2</sup> de área de drenagem, com 319,5 km de segmentos hídricos, com o seu rio principal apresentando 12,5 km de extensão com 3 m de largura em média, segundo LEMOS (2005). A bacia hidrográfica abrange os bairros de Santo Antônio de Lisboa, Sambaqui, Ratones, Jurerê, Daniela, Canasvieiras, Cachoeira do Bom Jesus, Ponta das Canas, Vargem Grande e Vargem Pequena. Este rio possui suas nascentes situadas na vertente oeste das encostas da porção norte do maciço cristalino central da Ilha de Santa Catarina e percorre extensas áreas de planície e constituindo um dos principais formadores do Manguezal de Ratones, desembocando na Enseada de Ratones, delimitada pelo Pontal da Daniela, no mar na Baía Norte da ilha de Santa Catarina. Os principais

afluentes do Rio Ratonés na margem direita são os rios Papaquara, com o afluente Rio Palha, o Rio da Costa e o Ribeirão Vargem Pequena. Os rios Piçarras, Ribeirão Capela, Córrego Silvino e o Rio Veríssimo, são os principais contribuintes da margem esquerda do Ratonés, formando um manguezal na área mais próxima a sua foz.

FUNKE (2009) afirma que na região do manguezal de Ratonés foram queimadas áreas significativas com objetivo de obtenção de terras para agricultura de subsistência e para a criação de gado. Foram também construídos canais de drenagem, modificando a circulação da água da região que sofre com frequência a ação das marés. Segundo o autor, algumas áreas descaracterizadas pelas atividades agropecuárias e por ensaios de criação de tanques para piscicultura, foram rapidamente abandonadas e transformadas em semi-brejos e brejos que ocupam atualmente toda parte Leste da rodovia SC-401 que dá acesso ao norte da ilha. A construção de diques, aterros e corte da vegetação do manguezal; da planície sedimentar do manguezal do rio Ratonés foi fortemente degradada, tendo 50,23% de sua configuração original alterada, sendo que a vegetação da parte oriental é mais conservada e foi pouco modificada desde 1978, na exceção de desmatamentos no vale do Rio Veríssimo.

As áreas de planície da bacia hidrográfica do Rio Ratonés foram intensamente afetadas por obras de drenagem executadas pelo extinto DNOS, desde o final da década de 1940, que incluíram a abertura de valas de drenagem e retificação de cursos d'água naturais. Também com a construção das rodovias SC-401 e SC-402, houve a implantação de aterros, tubulações, desvios do curso natural das águas e a construção de comportas para evitar a entrada da água do mar, por efeito das marés, com o objetivo de tornar as terras de planície, à montante, mais propícias a atividades agrícolas. Com isto houve uma redução considerável da área originalmente constituída por manguezal, tendo também como efeitos mais visíveis a ocorrência de constantes enchentes na planície do Rio Ratonés, além de processos acelerados de erosão das margens e assoreamento do leito do rio, canais de drenagem e trechos (meandros) abandonados após a retificação, bem como a redução da área de manguezal. As obras de drenagem, abertura de canais e retificação de trechos dos rios causaram a interligação da bacia principal com outras adjacentes, como no caso do Rio do Brás, ligado por canais ao Rio Papaquara.

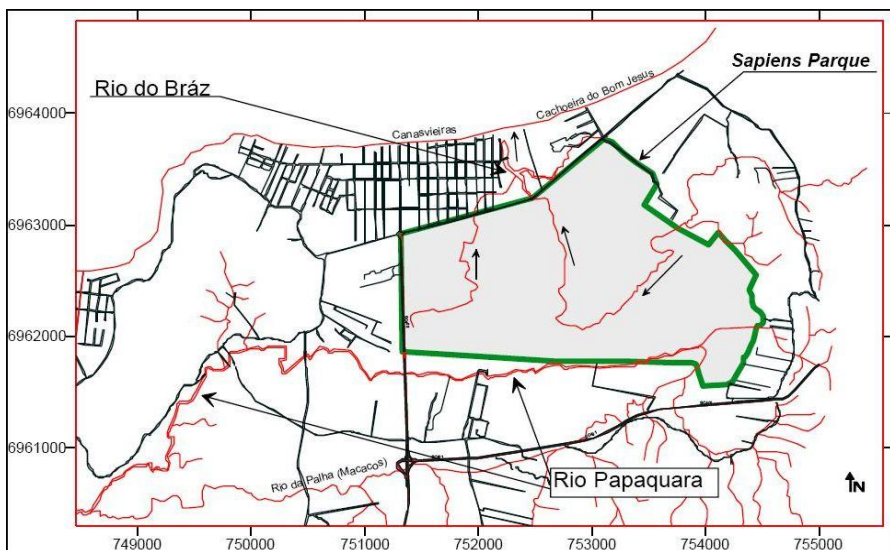
### 3.3.3 Sub-Bacia do Rio Papaquara

A bacia hidrográfica do rio Papaquara situa-se na margem direita do rio Ratonés. Nela, encontra-se um grande adensamento populacional que compreende bairros como Canasvieiras, Cachoeira do Bom Jesus, Vargem Grande, Vargem Pequena e Vila União, além de parte de um frágil ecossistema de manguezal. Dentro dessa bacia, há grandes espaços com ocupações irregulares que, afetam diretamente a biodiversidade deste rico ecossistema litorâneo.

O Rio Papaquara e o principal afluente da margem direita do Rio Ratonés, sua sub-bacia possui área de drenagem de 13.83 km<sup>2</sup>, com 65 segmentos naturais e 63 segmentos artificiais, totalizando 63,8 km de cursos de água. Devido às diversas atividades econômicas desenvolvidas na região norte da ilha o Rio Papaquara passou por diversas obras que alteraram drasticamente sua configuração original, removendo grande parte dos meandros, retificando boa parte do seu leito, visando possibilitar atividades de navegação e agricultura, num primeiro momento e posteriormente as atividades turísticas e imobiliárias.

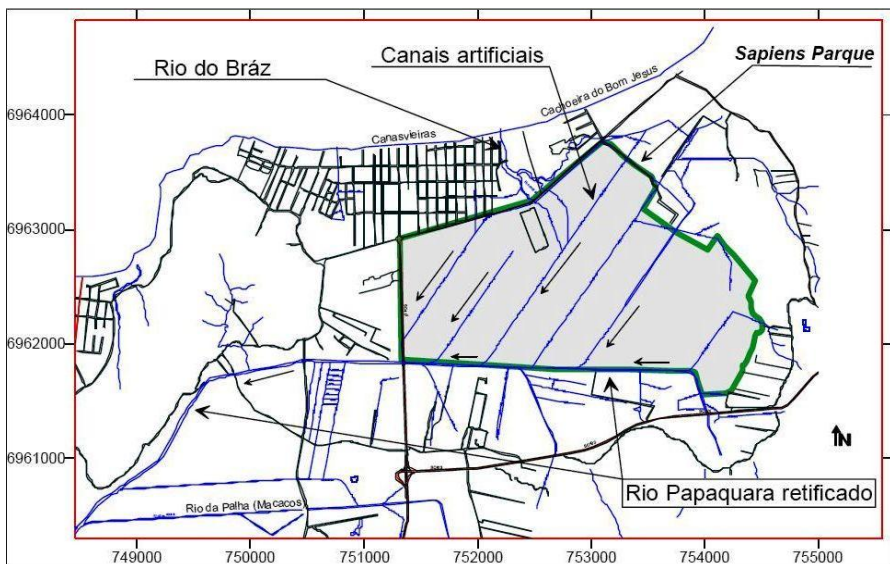
FIDELIS FILHO (1997) e SOCIOAMBIENTAL (2004) citam que a principal modificação ocorrida foi à captura da sub-bacia do rio do Braz, que desembocava diretamente na praia de Canasvieiras e devido ao fechamento da barra na praia e as modificações e abertura de novos canais de drenagem, teve seu fluxo revertido e direcionado para o rio Papaquara, dando a bacia sua configuração atual.

As figuras 6 e 7 ilustram estas profundas alterações que ocorreram na bacia hidrográfica do rio Papaquara, apresentando a direção do fluxo de água nos corpos hídricos (setas) observadas respectivamente em 1938 e 1978, após a captura da bacia do rio do Bráz.



**Figura 6 Lay out da bacia do rio Papaquara em 1938, antes das alterações promovidas pelo DNOS.**

Fonte: SOCIOAMBIENTAL (2004).



**Figura 7 Lay out da bacia do rio Papaquara em 1978, após as alterações promovidas pelo DNOS.**

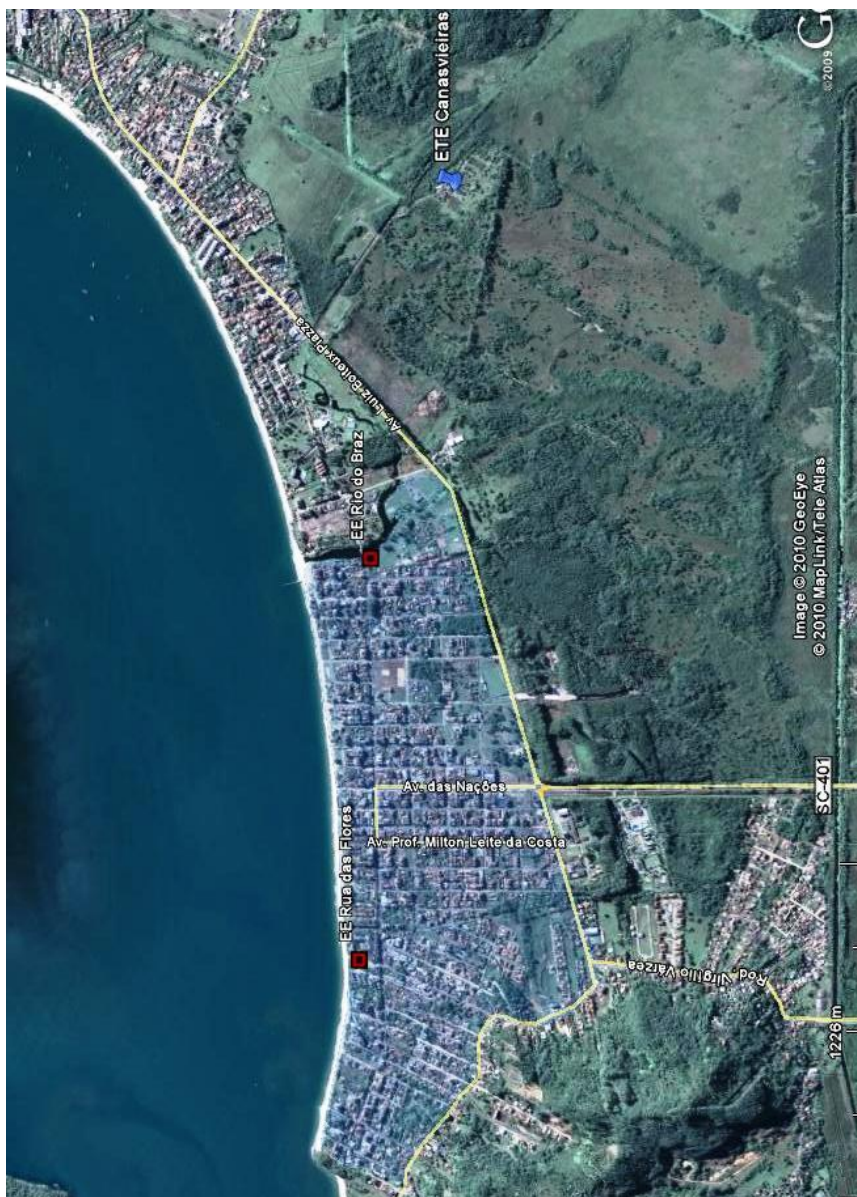
Fonte: SOCIOAMBIENTAL (2004).

### 3.3.4 Sistema de Esgotamento Sanitário de Canasvieiras

Com o objetivo de atender a reivindicações da Sociedade Pró-Desenvolvimento de Canasvieiras, a CASAN, em 1991 iniciou o processo de contratação das obras de implantação do Sistema de Esgotos Sanitários do Balneário de Canasvieiras. As obras tiveram início em fevereiro de 1992 e foram inauguradas em novembro de 1995.

De acordo com a CASAN custo total da obra atingiu o montante de US\$ 10.321.234,00, sendo que estes recursos foram captados junto à Caixa Econômica Federal, Governo do Estado, CASAN e junto à comunidade através de contribuições de melhoria da infra-estrutura.

O Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) inicialmente implantado na região atendia a praia de Canasvieiras com uma população de projeto de 24.600 habitantes através de 2.050 ligações de esgoto em 23,3 km de rede coletora, distribuídas entre o Canto das Pedras ao norte da Praia e as proximidades do Rio do Braz. Um aspecto importante é que durante os meses de verão, com a grande demanda turística da região norte da Ilha de Santa Catarina, a população atendida pelo sistema de esgoto de Canasvieiras pode chegar a triplicar. A Figura 8 apresenta a área de cobertura original do Sistema de Esgotamento Sanitário de Canasvieiras com a locação das principais estações de bombeamento e a locação da estação de tratamento.



**Figura 8** Área atendida pelo SES Canasvieiras.

Fonte: Google Earth (2011).





**Figura 9 Lay out da ETE Canasvieiras.**

Fonte: Google Earth (2011).

No momento a estação está em processo de ampliação, sendo contempladas as localidades da Cachoeira do Bom Jesus, Canto do Lamin, Praia da Lagoinha, Ponta das Canas, Praia Brava, Jurerê e Daniela, com possibilidade de atender 80.213 habitantes até o ano de 2027.

Nas localidades citadas acima, que ainda não são atendidas pelo sistema de coleta e tratamento de Canasvieiras, as águas servidas são encaminhadas a sistemas de tratamento individuais, constituídos por tanques sépticos e sumidouros. Esta técnica se torna deficiente nestes locais em função do elevado nível do lençol freático, desta forma, os efluentes gerados acabam por atingir as águas subterrâneas e conseqüentemente os demais corpos d'água da região.

Em alguns casos, a situação é ainda pior e os efluentes são lançados de forma irregular diretamente nos rios e na rede de drenagem pluvial, aumentando a poluição nos recursos hídricos da região, em especial o rio Papaquara e seus afluentes.

O projeto de ampliação da capacidade da ETE conta com a instalação de uma unidade de tratamento biológico anaeróbio do tipo reatores UASB (upflow anaerobic sludge blanket) e com a instalação de um novo decantador secundário.

### 3.4 Auto-Depuração de Rios

Naturalmente, após o lançamento pontual de determinada carga de poluentes biodegradáveis, um curso de água, inicialmente em boas condições e em equilíbrio possui capacidade de estabilizar, naturalmente algumas destas cargas lançadas. A este fenômeno de depuração natural de compostos dá-se o nome de autodepuração.

De maneira geral as variações de concentrações que ocorrem nos rios estão relacionadas a processos físico, químicos e biológicos que ocorrem ao longo do percurso do curso de água. O balanço de massa deve abranger os principais fenômenos envolvidos, conforme apresentado na Equação 10.

$$\text{Acúmulo} = \text{Adveção} + \text{Difusão} + \text{Reação} + \text{Sedimentação}$$

**Equação 10**

Segundo VON SPERLING (2007), o fenômeno da autodepuração está vinculado ao restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, após as alterações induzidas por despejos afluentes. Este restabelecimento gera uma nova condição de equilíbrio no curso de

água, diferente da condição inicial antes de qualquer lançamento. Embora em condições diferentes após a autodepuração o curso de água pode apresentar características que permitam mesmos usos da condição de montante, podendo ser estabelecidos valores máximos que poderão ser lançados em um rio de forma que os usos não sejam prejudicados, o que se mostra como um importante instrumento de gestão destes recursos hídricos.

Estas mudanças ocorrem devido ao transporte dos constituintes do rio no campo de velocidades do meio líquido, fenômeno análogo a convecção, usualmente chamado de advecção; que gera o espalhamento das partículas e constituintes ao longo do curso do corpo hídrico. A advecção é resultado do movimento unidirecional da água, sendo para o caso dos rios o principal componente de transporte de material no sentido de montante para jusante.

As variações nas concentrações também podem ocorrer pela difusão dos compostos ou devido às reações químicas e processos de conversão que ocorrem ao longo do trajeto do rio.

A difusão reflete o espalhamento das substâncias e pode ocorrer tanto de jusante para montante quanto no sentido contrário, dependendo das concentrações observadas. Segundo VON SPERLING (2007), em estuários, sujeitos a interferência das marés, em longa escala de tempo, com o movimento cíclico das mesmas, o fenômeno pode ser análogo ao da difusão, já em curta escala de tempo, o movimento predominante de vazante da maré pode caracterizar o transporte advectivo.

Na analogia entre rios e reatores uma simplificação usual é a adoção de escoamento unidimensional haja vista as proporções entre a largura das calhas e o comprimento do curso de água. Esta simplificação em geral é associada à suposição da uniformidade das características de uma seção transversal, o que corresponde, na engenharia de reatores a equipamentos com fluxo do tipo pistonado ou reatores PFR (plug flow reactors).

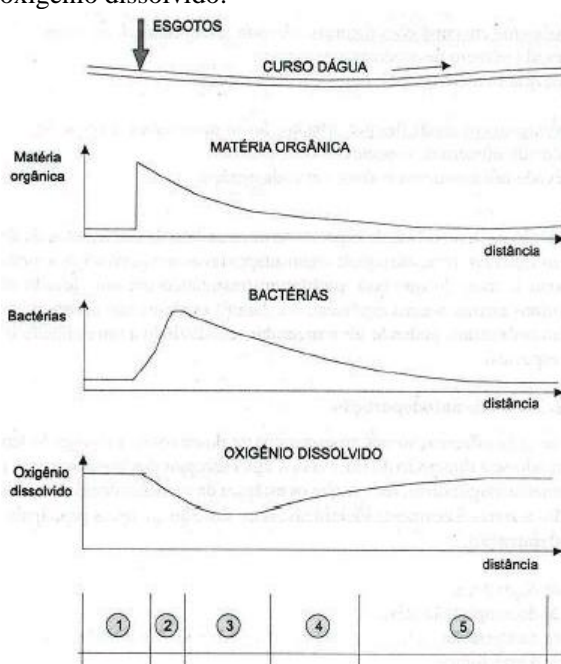
Para o caso da matéria orgânica e do oxigênio dissolvido presente na água uma situação semelhante pode ser observada, com a definição clara de cinco zonas de depuração ao longo do rio:

1. Zona de Águas Limpas Inicial;
2. Zona de Degradação;
3. Zona de Decomposição Ativa;
4. Zona de Recuperação; e
5. Zona de Águas Limpas Final.

Na zona de águas limpas são observadas as condições de boa qualidade do curso de água, após um lançamento pontual, devido à alta

concentração de matéria orgânica o oxigênio presente na água começa a ser consumido para que se inicie a adaptação e o crescimento da biota de bactérias para que em seguida se processe a degradação mais efetiva da matéria orgânica até que a mesma se apresente mais estabilizada reduzindo a atividade microbiana e recuperando aos poucos as concentrações de oxigênio dissolvido na água até que a mesma atinja posteriormente a nova situação de saturação, restabelecendo o equilíbrio dando origem a uma nova zona de águas limpas.

A Figura 10 mostra representação esquemática destas cinco zonas apresentando o perfil de concentrações de matéria orgânica, bactérias e oxigênio dissolvido.

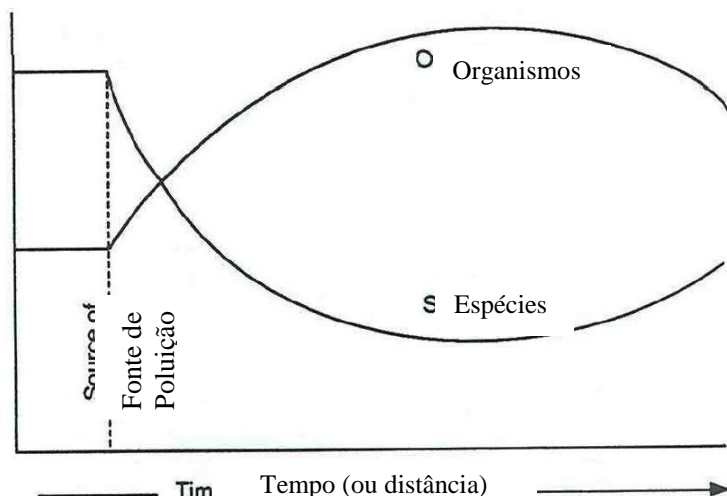


**Figura 10 Zonas de autodepuração em um curso de água após lançamento pontual de efluentes.**

Fonte: VON SPERLING (2007).

Do ponto de vista ecológico a autodepuração pode ser vista como um fenômeno de sucessão de espécies, existindo uma sequência sistemática de substituições de comunidades até que uma nova comunidade estável se estabeleça nas novas condições de equilíbrio. As características da população de organismos presentes em determinado

habitat também se alteram com as mudanças na qualidade da água. Em geral após o lançamento de uma fonte poluidora é esperado que a diversidade de espécies caia e o número de organismos presentes aumente, até que esse quadro se reverta, conforme pode ser observado na Figura 11.



**Figura 11 Comportamento das espécies ao longo de um curso de água com lançamento pontual de efluentes.**

Fonte: CORBIT (1997).

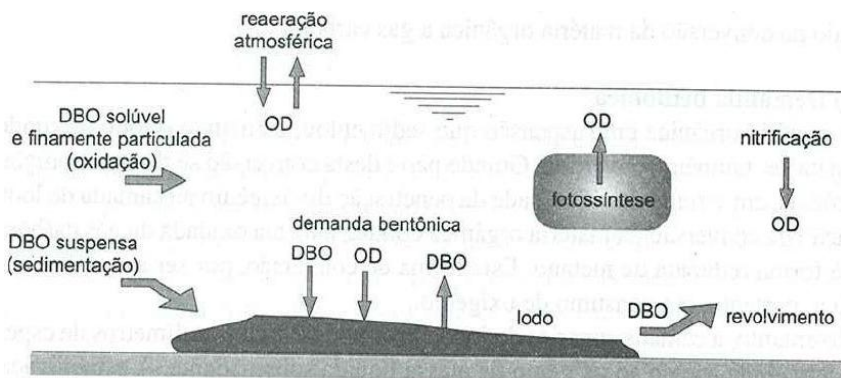
### 3.4.1 Modelos de OD/DBO

#### 3.4.1.1. Balanço de Oxigênio

A importância de se manter as concentrações ideais de oxigênio dissolvido em um curso de água já foi abordada neste trabalho na seção 3.2, sendo este parâmetro um dos maiores indicadores do grau de poluição dos rios e demais corpos de água.

De forma geral as águas constituem ambientes bastante pobres em oxigênio devido à baixa solubilidade deste gás no meio líquido. Enquanto no ar a concentração de oxigênio é de 270 mg/L na água, em condições normais de temperatura e pressão a concentração de equilíbrio é de aproximadamente 9 mg/L, nas condições normais de temperatura e pressão.

Entre os fenômenos envolvidos no ciclo do oxigênio nos cursos de água podemos citar a oxidação da matéria orgânica solúvel, sedimentação da matéria orgânica suspensa, oxidação na matéria orgânica de fundo, produção de oxigênio pelos organismos fotossintetizantes, oxidação dos compostos nitrogenados e reaeração atmosférica. Estes fenômenos podem ser observados no esquema apresentado na Figura 12.



**Figura 12 Esquema do ciclo do oxigênio na água**

Fonte: VON SPERLING (2007).

A oxidação da matéria orgânica é o principal agente de consumo do oxigênio dissolvido em um corpo de água. Os microorganismos presentes nos despejos, em especial nos esgotos domésticos utilizam o oxigênio dissolvido na água para seu metabolismo enquanto a grande quantidade de material orgânico disponível vai sendo estabilizada. Devido a esta grande quantidade de alimento as bactérias vão crescendo e se reproduzindo aumentando ainda mais o consumo de oxigênio no meio aquático.

Parte da matéria orgânica despejada em um curso de água pode se apresentar na forma particulada em suspensão. Este material aos poucos vai sedimentando no fundo dos corpos de água gerando uma demanda por oxigênio para sua estabilização no fundo dos rios. Associado a isso se tem o fato de que as concentrações do oxigênio em águas mais profundas tende a ser menor pela maior resistência ao transporte do gás na fase líquida. Neste material depositado a camada superficial da fase sólida que permanece em contato com a fase líquida sofre degradação aeróbia, consumindo, portanto oxigênio dissolvido na água, enquanto as camadas mais profundas não entram em contato com

o oxigênio do líquido sofrendo um processo de decomposição anaeróbia. Essa decomposição anaeróbia não consome oxigênio diretamente do meio líquido, porém este processo gera subprodutos, como por exemplo, metano e amônia, que se difundem e passam para a fase líquida consumindo o oxigênio lá disponível. Alterações nas velocidades dos cursos de água promovidas por enxurradas podem arrastar e revolver parte do material rico em compostos orgânicos presentes no fundo dos rios, expondo desta forma parte da fase sólida que não estava em contato com a água, facilitando o processo de decomposição aeróbia destas substâncias. A estes processos de consumo de oxigênio com origem no material sedimentado no fundo dos corpos de água dá-se o nome de demanda bentônica de oxigênio.

É comum a associação da matéria orgânica com formas de nitrogênio, em especial com nitrogênio na forma amoniacal, em especial nos esgotos domésticos. Como observado neste trabalho o nitrogênio amoniacal na presença de oxigênio se oxida formando nitritos e nitratos em um processo chamado de nitrificação. Este processo consome oxigênio dos cursos de água e ocorre na presença de bactérias autotróficas quimiossintetizantes, que possuem como principal fonte de alimento o gás carbônico que é produzido na estabilização da matéria orgânica, devido a este fato esta necessidade que o meio possui em consumir o oxigênio é chamada de demanda nitrogenada ou demanda de segundo estágio.

O principal processo de recomposição do oxigênio no meio líquido é devido à reaeração que ocorre naturalmente com o movimento da água ao longo do curso do rio. Este fenômeno é puramente físico e depende das condições ambientais locais, como por exemplo, temperatura e pressão atmosférica local, cuja principal influência é exercida pela altitude do local. Essa transferência de massa entre as fases líquida e gasosa tende a ocorrer enquanto o sistema líquido-gás não está em equilíbrio, quando a fase líquida apresenta uma condição de déficit de oxigênio, sendo a diferença entre a concentração de oxigênio na água e a concentração de saturação a força motriz do fenômeno.

A mistura que ocorre de forma natural da água gera trocas constantes da superfície de contato entre as duas fases, aumentando a área de contato, expondo superfícies com maiores déficits de oxigênio facilitando a transferência de massa, que sem essa movimentação se daria apenas por difusão. Devido a este fato, as condições de velocidade e a presença ou não de corredeiras, pedras e outros acidentes geográficos que promovam uma melhor mistura da água são facilitadoras do

processo de reaeração, tornando rios mais acidentados mais facilmente autodepuráveis.

Em determinadas situações a presença em grande quantidade de organismos autotróficos clorofilados podem gerar concentrações elevadas de oxigênio dissolvido nos corpos de água pelo aporte de OD gerado nas reações de fotossíntese. No balanço geral, estes organismos realizam muito mais síntese do que oxidam a matéria orgânica, gerando compostos orgânicos e disponibilizando oxigênio para os seres heterotróficos realizarem suas reações metabólicas.

#### 3.4.1.2 Modelo de Streeter-Phelps para Oxigênio Dissolvido

##### 3.4.1.2.1. Cinética de Desoxigenação

O processo de consumo de matéria orgânica é usualmente modelado como obedecendo a uma cinética de primeira ordem em que a DBO remanescente (L) varia com o tempo da seguinte forma:

$$\frac{dL}{dt} = -k_d \cdot L \quad \text{Equação 11}$$

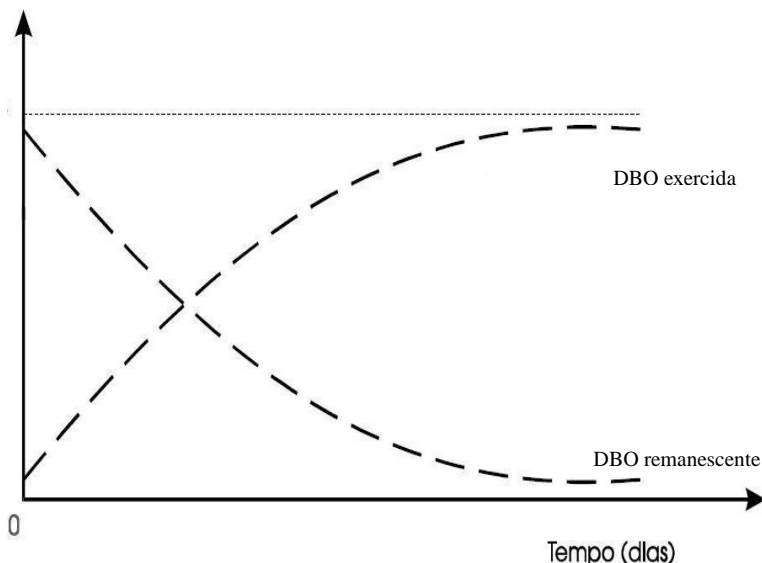
Onde  $k_d$  é o coeficiente de desoxigenação, L é a DBO remanescente e t é o tempo.

Portanto, a cada passo infinitesimal no tempo podemos observar uma variação na DBO exercida (y) numericamente igual à variação da DBO remanescente (L).

$$\frac{dL}{dt} = -\frac{dy}{dt} \quad \text{Equação 12}$$

Desta forma, segundo o modelo, enquanto a DBO remanescente vai decrescendo a DBO exercida vai crescendo na mesma quantidade, conforme pode ser observado na Figura 13.





**Figura 13 Curva progressão da DBO exercida e remanescente com o tempo.**

O coeficiente de desoxigenação depende da temperatura e das características do efluente a ser disposto no curso de água, além de características do próprio rio e indica a facilidade com que esta matéria orgânica irá degradar no curso d'água. A Tabela 7, apresenta valores observados na literatura para o coeficiente  $k_d$ .

**Tabela 7 Valores de  $k_d$  observados em rios.**

Origem	$k_d$ [dia <sup>-1</sup> ]	
	Rios Rasos	Rios Profundos
Curso de água recebendo esgoto bruto concentrado	0,50 – 1,00	0,35 – 0,50
Curso de água recebendo esgoto bruto de baixa concentração	0,40 – 0,80	0,30 – 0,45
Curso de água recebendo efluente primário	0,40 – 0,80	0,30 – 0,45
Curso de água recebendo efluente secundário	0,12 – 0,24	0,12 – 0,24
Curso de água com águas limpas	0,08 – 0,20	0,08 – 0,20

Fonte: VON SPERLING (2007) – Adaptado.

A influência da temperatura pode ser ajustada para um modelo de Arrhenius conforme Equação 13.

$$k_d^T = k_d^{20^\circ} \cdot \sigma^{(T-20)} \quad \text{Equação 13}$$

Onde  $k_d^{20^\circ}$  é a constante da reação a 20°C, T é a temperatura expressa em °C e  $\sigma$  é o coeficiente de temperatura para a reação (CHAPRA, 2008).

#### 3.4.1.2.2 Cinética de Reaeração

Na cinética de reaeração a modelagem usual leva em conta que o déficit de oxigênio (D) na fase líquida obedece também um comportamento de primeira ordem, apresentado na Equação 14:

$$\frac{dD}{dt} = -k_a \cdot D \quad \text{Equação 14}$$

Neste caso, D é o déficit de oxigênio na massa líquida, ou seja, é a diferença entre a concentração de saturação ( $C_i^{SAT}$ ) do gás nas condições do ambiente e o oxigênio dissolvido na água naquele instante ( $C_i$ ), conforme a Equação 15:

$$D_i = C_i^{SAT} - C_i \quad \text{Equação 15}$$

O coeficiente  $k_a$  é o coeficiente de aeração do rio e pode ser estimado a partir das características hidráulicas do corpo de água ou medido a partir de uma série de medições da quantidade de oxigênio dissolvido em diversos pontos do curso de água.

Os valores para  $k_a$  apresentam grandes faixas de variação, por isso sevem ser realizadas avaliações criteriosas sobre os valores a ser utilizados para esse parâmetro considerando as observações de campo, de forma a minimizar conclusões equivocadas do comportamento dos rios. A Tabela 8 apresenta alguns valores da literatura.

**Tabela 8 Valores de  $k_a$  observados em rios.**

Corpo de Água	$k_a$ [dia <sup>-1</sup> ]	
	Profundo	Raso
Pequenas Lagoas	0,12	0,23
Rios Vagarosos, grandes lagos	0,23	0,37
Grandes rios com baixa velocidade	0,37	0,46
Grande rio com velocidade normal	0,46	0,69
Rios rápidos	0,69	1,15
Corredeiras e quedas de água	> 1,15	> 1,61

Fonte: VON SPERLING (2007) – Adaptado.

Como pode ser observado, corpos de água com menores profundidades e maiores velocidades apresentam maiores valores de  $k_a$  o que indica a maior capacidade de recuperação do curso d'água.

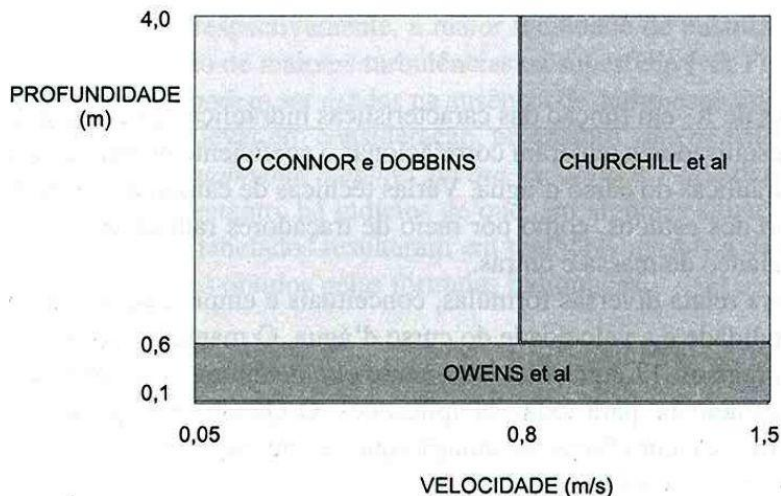
VON SPERLING (2007) apresenta algumas correlações desenvolvidas por diversos autores para que sejam estimados valores de  $k_a$  através de algumas características hidráulicas e morfológicas dos rios, tais como vazão (Q), velocidade (v) e altura da lâmina d'água (H).

**Tabela 9 Relações para a estimativa de  $k_a$ .**

Pesquisador	Relação	
O'Connor e Dobbins (1958)	$k_a = 3,93.v^{0,50}.H^{-1,50}$	<b>Equação 16</b>
Churchill et al (1962)	$k_a = 5,00.v^{0,97}.H^{-1,67}$	<b>Equação 17</b>
Owens et al (Chapra 1997)	$k_a = 5,30.v^{0,67}.H^{-1,85}$	<b>Equação 18</b>

Fonte: VON SPERLING (2007) – Adaptado.

Cada correlação foi desenvolvida para uma determinada faixa de profundidade (H) e velocidade (v). A Figura 14 apresenta as faixas de cada relação apresentada na Tabela 9.



**Figura 14** Faixa de valores para as equações da estimativa do  $k_a$

Fonte: VON SPERLING (2007).

Para rios pequenos e rasos THOMANN e MUELLER (1987), apud VON SPERLING (2007) apresentam equações desenvolvidas especificamente para cursos d'água pequenos e rasos por Tsivoglou e Wallace que utilizam como parâmetros a velocidade ( $v$  [m/s]) e a declividade ( $i$  [m/km]), do curso de água.

- Rios pequenos ( $30 < Q < 300$  l/s):

$$k_a = 31,6 \cdot (v \cdot i)$$

**Equação 19**

- Rios médios ( $300 < Q < 8500$  l/s):

$$k_a = 15,4 \cdot (v \cdot i)$$

**Equação 20**

VON SPERLING (2007) apresenta relações empíricas baseados em medições de  $k_a$  em campo por meio da técnica de traçador-gás desenvolvidas por Melching e Flores associadas a características morfométricas e hidráulicas dos trechos estudados, pelos autores. Estas relações estão apresentadas na Tabela 10.

**Tabela 10 Equações para estimativa do coeficiente  $k_a$ , de MELCHING e FLORES (1999)**

Tipo de Curso	Vazão [L/s]	Equação para $k_a$	
Rios com depressões e soleiras	$Q < 556$ L/s	$k_a = 517.(v.i)^{0,524}.Q^{-0,242}$	<b>Equação 21</b>
	$Q > 556$ L/s	$k_a = 596.(v.i)^{0,528}.Q^{-0,136}$	<b>Equação 22</b>
Rios com controle de canal	$Q < 556$ L/s	$k_a = 88.(v.i)^{0,313}.H^{-0,353}$	<b>Equação 23</b>
	$Q > 556$ L/s	$k_a = 142.(v.i)^{0,333}.H^{-0,660}.B^{-0,243}$	<b>Equação 24</b>

Para as equações 21 a 24 da Tabela 10 “**v**” é a velocidade do rio em metros por segundo, **i** é a declividade do rio em metros por metros, **B** é largura do rio em metros medida no topo e **H** é a profundidade em metros.

Os rios com depressões e soleiras correspondem a uma sucessão de trechos com remansos, seguidos por corredeiras. Os rios com controle de canal são aqueles em que a profundidade de escoamento é determinada pelas características de atrito ao longo do canal, ou seja, com a ocorrência de escoamento uniforme (BAPTISTA e LARA, 2002, apud VON SPERLING, (2007).

Segundo MELCHING e FLORES (1999) apud VON SPERLING, (2007), em condições de vazão de estiagem, a maioria dos cursos d’água se comporta como uma sequência de depressões e soleiras.



## **4. Materiais e Métodos**

Para este trabalho foram utilizados dados geográficos obtidos de interpretações de imagens aéreas e do histórico da ocupação na região norte da ilha, em especial nas bacias hidrográficas dos rios Ratones e Papaquara realizadas por FIDELIS FILHO (1998).

O software Google Earth<sup>R</sup> 6.0.2 na sua versão livre foi utilizado para produzir as imagens aéreas da região, a largura da calha e o perfil de altitude ao longo do leito do rio Papaquara.

Os dados de qualidade da água foram extraídos de três fontes, BRETANO, SOCIOAMBIENTAL e do monitoramento ambiental realizado pela CASAN nas estações de tratamento localizadas na região e em dois pontos da bacia hidrográfica do rio Papaquara. BRETANO (2008) realizou as análises de pH e de Temperatura com a utilização de sonda no próprio campo. As determinações de DBO e OD foram pelo método de Winker e as demais medições foram realizadas espectroscopia. Os dados da CASAN são os que apresentam maior período de medições e maior quantidade de análises, haja vista que este monitoramento tem o objetivo de avaliar a eficiência da estação de tratamento de esgotos de Canasvieiras instalada desde a década de 1990. Ao longo dos anos as metodologias de análise utilizadas pela companhia foram se adequando as ofertas de mercado e algumas modificadas, como é o caso da DBO, que até o ano de 2009 era realizada pelo método de Winker sendo substituída pela metodologia respirométrica. Nesta adequação alguns parâmetros foram acrescentados e outros modificados, tal qual a série nitrogenada onde houve a troca dos fornecedores dos kits de análise. Estas alterações, porém não interferiram na avaliação dos dados obtidos pelo monitoramento.

As simulações foram realizadas através da implementação do modelo QUAL-UFGM de VON SPERLING (2007) em planilha eletrônica do software Microsoft Excel.

### **4.1 Características Topográficas**

Devido as suas características geográficas a bacia do Papaquara apresenta baixas declividades na maior parte do trajeto do curso de água principal. A Figura 15 apresenta a característica do perfil de altitude ao longo do curso do rio Papaquara.



**Figura 15** Altitudes observadas ao longo do rio Papaquara.

Fonte: Google Earth (2011).



Conforme pode ser observado na Figura 15, o curso de água apresenta aproximadamente nove quilômetros sendo que a declividade do rio se apresenta bastante elevada na área de cabeceira, à direita. Após o primeiro quilômetro a declividade permanece praticamente constante, na faixa de cinco metros caindo gradativamente até três metros na desembocadura do rio Papaquara quando este adentra ao rio Ratones.

#### 4.2 Avaliação da Disponibilidade de Água

Ao longo do curso do rio Papaquara e do rio Ratones não existe nenhuma estação fluviométrica, que realize as medições de nível e vazão dos cursos de água desta bacia hidrográfica. Devido à inexistência destas estações não foi possível a coleta de dados específicos da região nos bancos de dados da rede de monitoramento de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas, tornando a regionalização de vazões uma opção para a estimativa do comportamento dos corpos de água desta bacia hidrográfica. É importante salientar que a regionalização de vazões apresenta uma estimativa com base nos dados obtidos de outras estações fluviométricas que são aplicados na região do estudo. As vazões apresentadas foram escolhidas com vistas a apresentar situações de média (QMLT,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ ). Também foi estimada a vazão mínima  $Q_{7,10}$  para a situação crítica de estiagem.

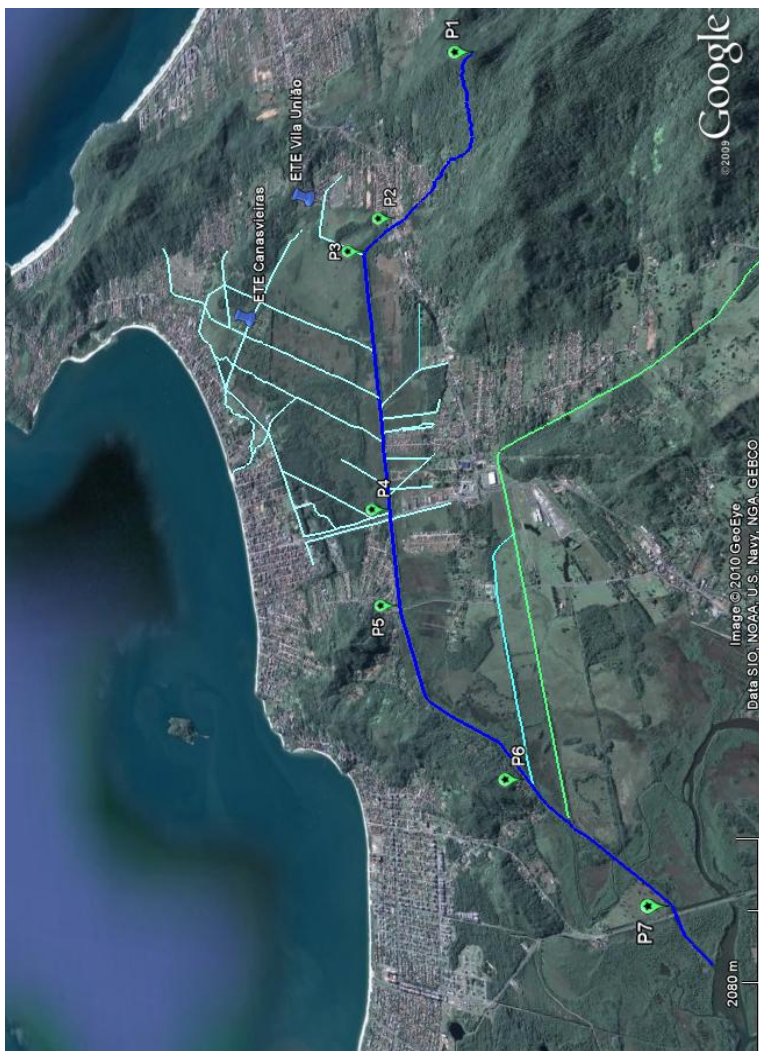
Para a aplicação do estudo de regionalização, foi utilizada planilha do software Microsoft Excel com as fórmulas estruturadas tendo como dados de entrada os valores de precipitação e a área de drenagem da bacia hidrográfica.

#### 4.3 Avaliação da Qualidade da Água

Para avaliação dos dados de qualidade da água foram analisadas três fontes que realizam diferentes trabalhos na região: BRETANO et al (2008); CASAN (2010) e SÓCIOAMBIENTAL (2004). As malhas e o esforço amostral das três fontes são bastante diferentes, porém com alguns pontos em comum, percorrendo o leito principal do rio Papaquara e alguns de seus canais afluentes, além das estações de tratamento de esgotos localizadas na região.

A primeira fonte levantada foi BRETANO et al (2008). Os autores avaliaram a qualidade da água ao longo do rio Papaquara, desde sua nascente até sua foz em sete pontos, com esforço amostral de 5 coletas realizadas entre agosto e setembro de 2008. As análises foram realizadas no laboratório de recursos hídricos da Estação Ecológica

(ESEC) dos Carijós e apresentam um bom diagnóstico do rio Papaquara, já que estas análises foram realizadas ao longo de todo o rio. A Figura 16, mostra a localização dos pontos analisados por BRETANO et al (2008).



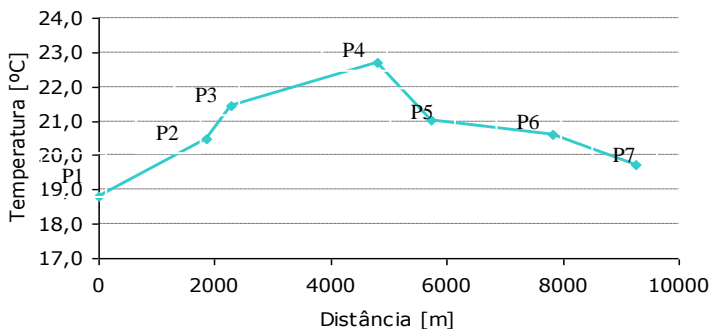
**Figura 16** Pontos analisados por BRETANO et al (2008).

As médias dos resultados obtidos por pontos nas 5 campanhas apresentadas por BRETANO *et al* é mostrada na Tabela 11.

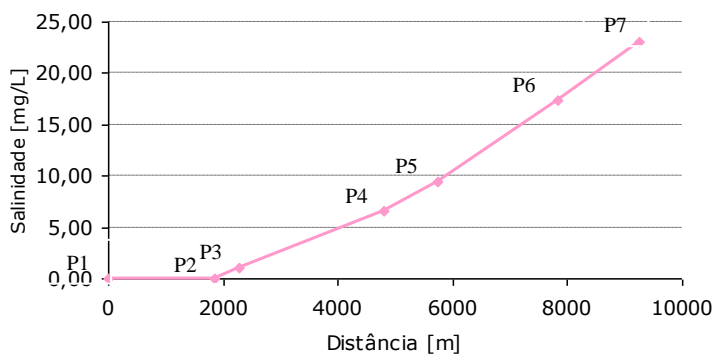
**Tabela 11 Médias das análises realizadas por BRETANO et al (2008)**

Ponto	Distância	T	Sal.	PO <sub>4</sub>	pH	OD	DBO	CF
	[m]	[°C]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	NMP/ 100mL
P1	0	18,8	0,00	0,19	6,9	6,71	2,85	2,4E+0 2
P2	1240	20,5	0,00	0,90	7,0	3,35	186	4,5E+0 3
P3	2140	21,5	1,00	2,18	7,0	0,32	249	1,8E+0 3
P4	4160	22,7	6,60	0,58	7,3	2,36	95,5	5,6E+0 3
P5	5070	21,0	9,40	0,59	7,3	3,77	42,3	5,5E+0 3
P6	7170	20,6	17,40	0,37	7,3	4,17	32,4	3,2E+0 3
P7	8670	19,7	23,00	0,27	7,4	4,35	49,2	6,0E+0 1

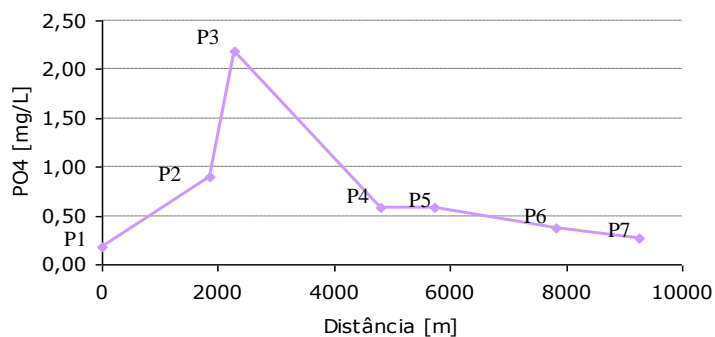
O comportamento médio dos principais parâmetros deste estudo é mostrado nas figuras 17 à 23 em função da distância ao longo do leito do rio principal, desde o ponto de monitoramento P1, definido como ponto de posição igual a zero.



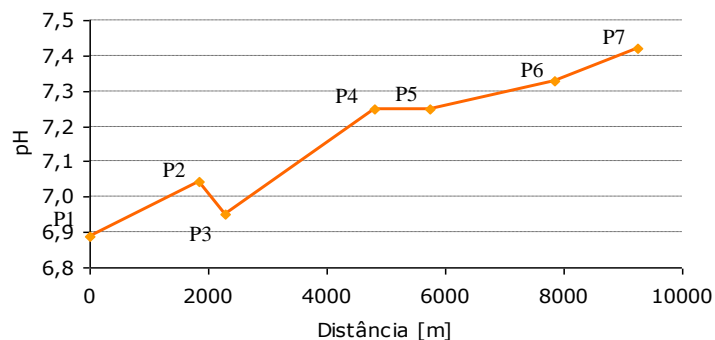
**Figura 17 Temperatura ao longo do rio Papaquara.**



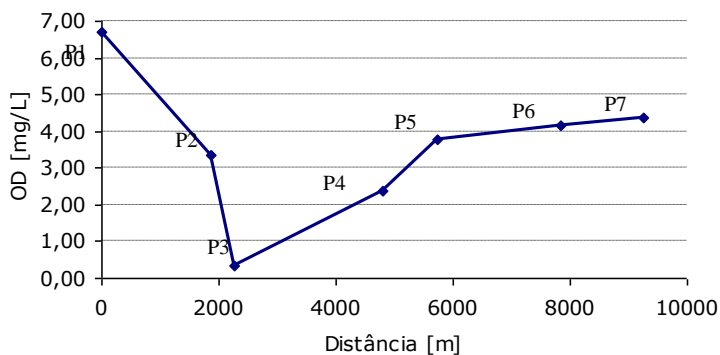
**Figura 18 Salinidade ao longo do rio Papaquara.**



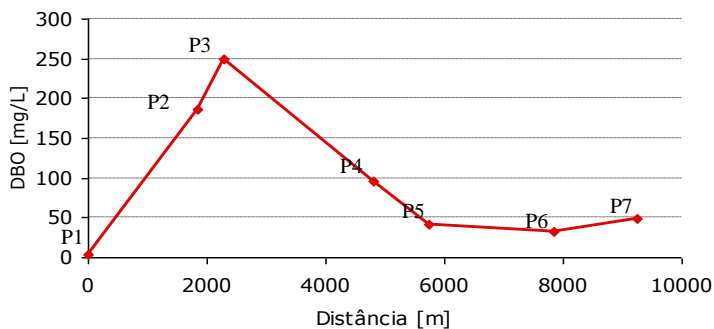
**Figura 19 Fosfato ao longo do rio Papaquara.**



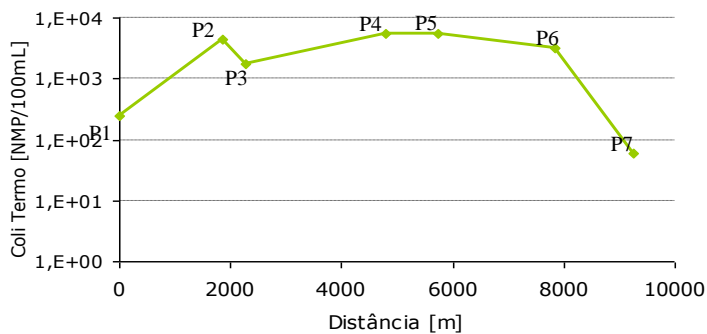
**Figura 20 pH ao longo do rio Papaquara.**



**Figura 21 Oxigênio dissolvido ao longo do rio Papaquara.**



**Figura 22 DBO ao longo do rio Papaquara.**

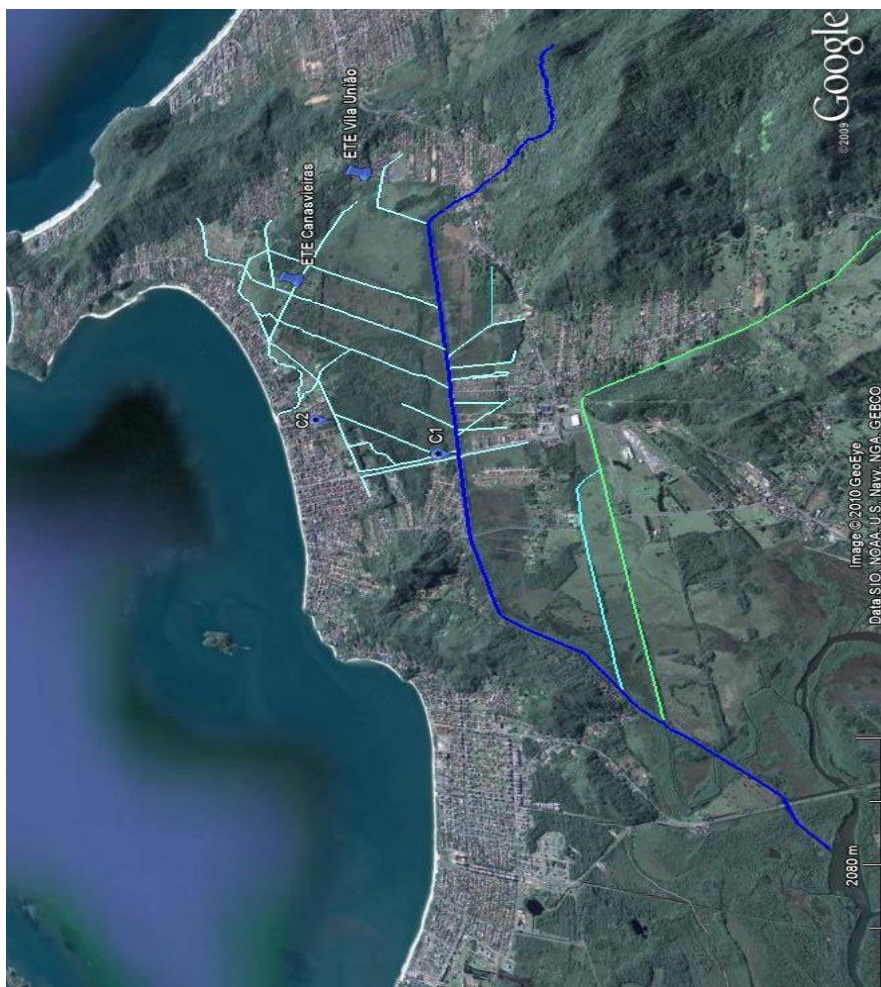


**Figura 23 Coliformes termotolerantes ao longo do rio Papaquara.**

A variação de temperatura (Figura 17) ao longo do rio aponta para a ocorrência de águas com menores velocidades nas imediações dos pontos P3 e P4. Os resultados da salinidade e pH (Figuras 18 e 20) comprovam a entrada de água do mar através da foz do Papaquara em direção a cabeceira indicando a ocorrência de reversão de fluxo nas épocas de marés cheias. Os valores de Fósforo, OD, DBO e Coliformes (Figuras 19, 21, 22 e 23) indicam o comprometimento da qualidade atual das águas do Papaquara, especialmente na região entre os pontos P2 e P4, indicando alto grau de poluição originária, possivelmente, pela presença de despejos de esgotos domésticos sem tratamento. Os resultados ainda apontam para a grande capacidade de recuperação do rio, que rapidamente tem suas concentrações de Oxigênio Dissolvido restabelecidas.

Nos dados brutos levantados no monitoramento ambiental e operacional da ETE Canasvieiras realizado pela CASAN são observados, além dos valores de diversos parâmetros de interesse ao longo das unidades de tratamento, outros dois pontos nas imediações da estação e, por consequência, na área de interesse deste trabalho. Uma destas estações amostrais se localiza no leito do Papaquara (C1) e corresponde ao ponto P4 do trabalho de BRETANO. O outro local monitorado pela Companhia se situa na rede de macro-drenagem do terreno onde hoje está localizado o Sapiens Park.

Os pontos monitorados pela CASAN são apresentados na foto-imagem mostrada na Figura 24.



**Figura 24 Pontos de avaliados no monitoramento executado pela CASAN.**

O esforço amostral levantado por este trabalho contemplou um número bastante superior de campanhas, totalizando 58, realizadas ao longo de 5 anos, entre 2004 e 2009. Também foram levantados os valores do efluente tratado lançados pelas ETEs de Canasvieiras e de Vila União, ambas operadas pela CASAN. Os valores médios obtidos nos quatro pontos são mostrados na Tabela 12.

**Tabela 12 Dados médios do monitoramento da CASAN na região do Papaquara**

Ponto	T	Sal.	PO <sub>4</sub>	pH	OD	DBO	CT	CF
	[°C]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	NMP/ 100mL	NMP/ 100mL
ETE CANAS	24,4	0,25	2,74	7,2	0,88	22,72	2,6E+06	4,4E+05
ETE VU	23,8			7,1		119,96		2,5E+04
Canal 1	22,2	4,46	4,21	7,1	3,33	6,4	1,2E+05	5,1E+03
Canal 2	21,4	0,78	1,54	7,1	1,85	11,08	6,6E+04	1,2E+03

No levantamento de dados realizados pela empresa SOCIOAMBIENTAL, no Estudo de Impacto Ambiental do Sapiens Park, de 2004, foram observados 12 pontos das imediações daquele empreendimento. O esforço amostral foi pequeno e com variações nos pontos analisados nas três campanhas de coleta realizadas no mês de outubro de 2003. Alguns pontos apresentaram três, outros duas, mas a maioria apresentou apenas uma campanha.

A localização dos pontos de SOCIOAMBIENTAL (2004) é apresentada na Figura 25.

Para fins de comparação, a Tabela 13 traz os pontos comuns aos dos trabalhos de BRETANO e ao monitoramento da CASAN além de outros pontos de interesse para a avaliação da modelagem do rio Papaquara.

**Tabela 13 Dados médios do monitoramento da SOCIOAMBIENTAL na região do Papaquara**

Ponto	T	Sal.	PO <sub>4</sub>	pH	OD	DBO	CT	CF
	[°C]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	NMP/ 100mL	NMP/ 100mL
SP1	-	9,90	-	7,2	5,12	4,3	6,6E+03	6,3E+03
SP 2	-	1,70	-	6,7	3,11	-	-	-
SP 6	-	0,16	-	6,3	4,60	4,02	1,1E+04	1,1E+04
SP 7	-	1,57	0,17	6,6	1,74	-	-	-
SP 11	-	0,29	2,31	6,6	0,22	2,70	2,2E+05	2,4E+05





**Figura 25 Pontos de avaliados por SOCIOAMBIENTAL, 2004.**  
4.4 Modelagem da Qualidade da Água

A modelagem da qualidade da água do rio Papaquara realizada utilizou as equações de decomposição de matéria orgânica considerando uma cinética de primeira ordem, assim como a cinética de sedimentação, além das cargas difusas que vão entrando no rio em cada passo de tempo (Equação 25).

$$\left( \begin{array}{c} \text{Variação da Massa} \\ \text{Matéria Orgânica} \end{array} \right) = (\text{Consumo}) - (\text{Sedimentação}) + \left( \begin{array}{c} \text{Cargas} \\ \text{Difusas} \end{array} \right)$$

### Equação 25

Na forma matemática a Equação 25 pode ser escrita conforme apresentado na Equação 26.

$$\frac{dL}{dt} = k_d \cdot L - k_s \cdot L + L_{dif}$$

**Equação 26**

Onde  $k_d$  é a constante de velocidade da reação de consumo de matéria orgânica,  $k_s$  é a constante de velocidade da sedimentação da matéria orgânica que se encontra na forma particulada e  $L$  é a DBO remanescente, sendo  $L_{dif}$  a DBO remanescente oriundas das cargas difusas.

O balanço de Oxigênio Dissolvido pode ser conceitualmente descrito conforme os fenômenos apresentados na Equação 27.

$$\left( \begin{array}{c} \text{Variação da} \\ \text{Massa de OD} \end{array} \right) = (\text{Aeração}) - (\text{Decomposição}) + \left( \begin{array}{c} \text{Demanda} \\ \text{Sedimento} \end{array} \right) + (\text{Respiração}) - (\text{Fotossíntese}) + \left( \begin{array}{c} \text{Demanda} \\ \text{Nitrogenada} \end{array} \right)$$

### Equação 27

Para fins deste trabalho os fenômenos de demanda de sedimento, respiração e fotossíntese foram desconsideradas como fenômenos isolados sendo seus efeitos aglutinados nos ajustes a ser realizados no termo de aeração. Dessa maneira a Equação 27 foi descrita na forma matemática conforme apresentado na Equação 28.

$$\frac{dC}{dt} = [k_a \cdot (C_{SAT} - C_t)] - \frac{dL}{dt} - \left[ R_{O_2}^{AMON} \cdot (f_{NITRI} \cdot k_{AN}) \cdot N_{AMON} + R_{O_2}^{NITRI} \cdot (f_{NITRI} \cdot k_{NN}) \cdot N_{NITRI} \right]$$

## Equação 28

Onde  $k_a$  é a constante de velocidade da reação de aeração do rio,  $C_{SAT}$  é a concentração de saturação do Oxigênio no rio,  $C_t$  é a concentração de Oxigênio Dissolvido no rio,  $f_{NITRI}$  é o fator de conversão de  $k_{AN}$  em função da baixa concentração de Oxigênio Dissolvido,  $R_{O_2}^{AMON}$  é a relação entre a massa de oxigênio consumido por cada unidade de massa de Amônia oxidada a Nitrito,  $R_{O_2}^{NITRI}$  é a relação entre a massa de oxigênio consumido por cada unidade de massa de Nitrito oxidada a Nitrato e os termos  $k_{AN}$  e  $k_{NN}$  são respectivamente os coeficientes de velocidade das reações de conversão de Nitrogênio Amoniacal a Nitrito e de Nitrito a Nitrato.

### 4.4.1 Estimativa dos Valores de $k_a$ e $k_d$

Em observações de campo e devido às características geográficas da região da planície do rio Papaquara podemos estimar os valores esperados para as constantes de desoxigenação,  $k_d$ , e da constante de reaeração,  $k_a$ .

Segundo VON SPERLING (2007) as equações propostas por Streeter e Phelps são muito mais sensível aos valores de  $k_a$ , do que de  $k_d$ . Ainda segundo o mesmo autor o coeficiente  $k_a$  é o que apresenta maiores faixas de variação tornando esta estimativa de vital importância para a modelagem de um curso de água.

Observando os dados medidos por BRETANO et al e o monitoramento da CASAN podemos afirmar que o rio Papaquara recebe elevada contribuição de esgotos domésticos, principalmente nas imediações do segundo quilometro de percurso do rio quando o Papaquara atravessa a SC 403, que leva ao bairro dos Ingleses. Neste ponto a concentração de DBO do rio é próxima a DBO do esgoto bruto sem qualquer tratamento.

Ao observar a Tabela 6 apresentada anteriormente, podemos verificar que para rios rasos, que recebem o lançamento de esgotos sem

tratamento, como é o caso do rio Papaquara neste trecho, os valores de  $k_d$  esperados estão na região entre 0,5 e 1,0  $\text{dia}^{-1}$ .

Para os valores de  $k_a$  diversos valores foram calculados e estimados utilizando os métodos descritos no item 2.4.1 nas condições que podem ser verificadas na bacia do rio Papaquara.

De acordo com a Tabela 7 deste trabalho o valor esperado para  $k_a$  seria de 0,37  $\text{dia}^{-1}$ . Utilizando as equações desenvolvidas por Tsivoglou e Wallace para rios pequenos e rasos apontadas por THOMANN e MUELLER (1987), apud VON SPERLING (2007) o valor obtido para o  $k_a$  é de 155,24. Já para as relações empíricas desenvolvidas por Melching e Flores os valor de  $k_a$  estimado é de 14,4  $\text{dia}^{-1}$ .

## 5. Resultados e Discussão

Nesta seção são apresentadas e discutidas as equações utilizadas para o desenvolvimento do problema, bem como as estimativas dos principais parâmetros que devem alimentar o modelo proposto, tais como as vazões dos rios Papaquara e Ratonés, as contribuições de esgoto por UEP, a vazão estimada para a ETE Canasvieiras para todos os cenários.

A calibração do modelo levou em consideração o atendimento da região nas proximidades de cada trecho do Papaquara, com coleta e tratamento dos esgotos segundo cada cenário desenvolvido.

Os resultados obtidos para os parâmetros OD e DBO são apresentados na forma de gráficos que representam o curso do rio Papaquara desde a nascente até sua desembocadura no Rio Ratonés.

### 5.1 Estimativa de Vazões

Para a estimativa da série de vazões do rio Papaquara foi realizada a aplicação do estudo de regionalização de vazões desenvolvido pela Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico Sustentável de Santa Catarina, utilizando os dados obtidos em medições nas cartas topográficas da área de drenagem da bacia e da precipitação média observada na região. Com a estimativa do crescimento populacional ao longo dos anos realizada pelo estudo de CAMPANARIO (2007) contratado pelo Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis, IPUF. Através da aplicação para ao caso destes dois estudos foram levantados os dados de disponibilidade hídrica do Papaquara e criados os cinco cenários com o quantitativo médio dos esgotos produzidos que deverão ser encaminhados para tratamento na ETE de Canasvieiras, avaliando as perspectivas de investimento na ampliação da cobertura com rede coletora.

Para a bacia do rio Ratonés e do Papaquara a aplicação da regionalização de vazões para as bacias hidrográficas de Santa Catarina gerou os dados que estão apresentados na Tabela 14 que aponta a vazão específica, a vazão média de longo termo, a vazão mínima média de 7 dias consecutivos com período de retorno de 10 anos, a vazão média mensal em 90 e 95% do tempo respectivamente.

**Tabela 14 Resultados da aplicação do estudo de regionalização de vazões da SDS.**

Rio	Área de	$Q_{esp}$	QMLT	$Q_{7,10}$	$Q_{90}$	$Q_{95}$
-----	---------	-----------	------	------------	----------	----------

	Drenagem (km <sup>2</sup> )	(L/s.km <sup>2</sup> )	(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)
Papaquara	13,83	16,89	233,5	39,1	112,1	93,4
Ratones	88,32	20,03	1.768,7	311,1	849,0	707,5

Segundo dados do geoprocessamento do município de Florianópolis, a região a ser atendida pela ETE Canasvieiras compreende os distritos de Canasvieiras e Cachoeira do Bom Jesus. O distrito de Canasvieiras compreende as Unidades Espaciais de Planejamento (UEPs): Praia do Forte, Daniela, Jurerê Oeste, Jurerê Leste, Canto do Lamin, Canasvieiras, Vargem de Fora, Rio da Palha, Jurerê Sul e Mangue do Jurerê. O distrito da Cachoeira do Bom Jesus abrange as UEPs da Lagoinha do Norte, Praia Brava, Ponta das Canas, Cachoeira do Bom Jesus Leste, Cachoeira do Bom Jesus Oeste, Vargem do Bom Jesus e Vargem Grande. A Figura 26 apresenta o mapa com a divisão política dos distritos de Florianópolis.



**Figura 26 Divisão Política dos Distritos de Florianópolis – Norte da Ilha.**

Fonte: FLORIANÓPOLIS/SC, 2009.

Os dados de CAMPANÁRIO (2007) apontam um grande crescimento populacional para a região do distrito de Canasvieiras e da Cachoeira do Bom Jesus. Todas estas áreas são objeto de atendimento pela ETE de Canasvieiras, que lança seus efluentes tratados no rio Papaquara. A Tabela 15 mostra a estimativa populacional para os anos

de 2015 até 2050 nos distritos de Canasvieiras e Cachoeira do Bom Jesus, regiões de interesse deste estudo.

**Tabela 15 Estimativa Populacional dos Distritos de Canasvieiras e Cachoeira do Bom Jesus**

ANO	Pop. Canasvieiras [hab]			Pop. Cachoeira do Bom Jesus [hab]		
	Fixa	Flut.	Total	Fixa	Flut.	Total
2015	34.411	113.973	148.384	28.616	64.686	93.302
2020	36.944	131.542	168.485	30.255	73.524	103.780
2025	39.322	150.519	189.841	31.416	82.076	113.492
2030	41.592	171.155	212.748	32.513	91.315	123.828
2035	43.742	182.626	226.368	33.588	95.709	129.297
2040	45.654	190.609	236.263	34.692	98.856	133.548
2045	46.980	196.144	243.124	35.522	101.222	136.744
2050	47.763	199.416	247.179	36.115	102.910	139.025

Fonte: CAMPANÁRIO, 2007 – Adaptado.

Os dados obtidos por CAMPANÁRIO (2007) para população flutuante foram baseados na produção de lixo por distrito. O autor também analisou os dados obtidos na secretaria de turismo do município de Florianópolis, SANTUR. Ambos os dados se mostram bastante discordantes quanto ao percentual da população fixa destes pelo percentual de população flutuante dos mesmos. Segundo dados da SANTUR a variação da população seria de 17% de aumento na época de temporada, pela análise de CAMPANÁRIO, baseada na produção de lixo este aumento chegaria a 275% em Canasvieiras. Esta discordância apontada por CAMPANÁRIO (2007), em conjunto com o curto período de permanência do turista no município, de 6,5 dias segundo o mesmo fez com que os valores considerados para os cálculos da vazão produzida de esgotos levassem em conta apenas a população fixa nas UEPs atendidas e as que serão contempladas no futuro com a coleta e o tratamento dos esgotos na ETE de Canasvieiras. Esta consideração se aplica a 98% do período anual. A Tabela 16 mostra a população fixa por UEP na área de abrangência da ETE Canasvieiras.

**Tabela 16 População fixa por UEP a ser atendida pelo SES Canasvieiras**

UEP	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Daniela	1.335	1.417	1.468	1.543	1.596	1.653	1.694	1.725
Jurerê Oeste	4.096	4.419	4.711	5.004	5.266	5.462	5.644	5.773
Jurerê Leste	6.703	7.207	7.736	8.193	8.652	9.103	9.367	9.522
Canto do Lamin	1.062	1.134	1.188	1.246	1.305	1.349	1.381	1.400
Canasvieiras	16.934	18.180	19.343	20.483	21.573	22.560	23.233	23.584
Lagoinha	1.184	1.234	1.259	1.299	1.332	1.362	1.390	1.403
Praia Brava	238	246	255	263	271	277	284	290
Ponta das Canas	4.587	4.721	4.883	5.046	5.190	5.353	5.499	5.597
Cach. Bom. Jesus Leste	5.941	6.317	6.617	6.850	7.070	7.276	7.500	7.652
Cach. Bom. Jesus Oeste	3.702	4.109	4.356	4.592	4.807	5.008	5.136	5.196
Vargem do Bom Jesus	1.904	2.079	2.198	2.301	2.395	2.495	2.559	2.611
Total	47.686	51.062	54.014	56.821	59.457	61.898	63.687	64.753

Fonte: CAMPANÁRIO, 2007 – Adaptado.

Para realizar a estimativa da vazão sanitária produzida pela população residente nas regiões citadas na Tabela 16 foi utilizada da Equação 8, considerando a contribuição per capita de 200 L/s e o coeficiente de retorno de 80%. Os valores obtidos são apresentados por UEP e podem ser observados na Tabela 17.



**Tabela 17 Vazão sanitária em L/s estimada por UEP a ser atendida pelo SES Canasvieiras**

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Daniela	2,47	2,62	2,72	2,86	2,96	3,06	3,14	3,19
Jurerê Oeste	7,58	8,18	8,72	9,27	9,75	10,11	10,45	10,69
Jurerê Leste	12,41	13,35	14,33	15,17	16,02	16,86	17,35	17,63
Canto do Lamin	1,97	2,10	2,20	2,31	2,42	2,50	2,56	2,59
Canasvieiras	31,36	33,67	35,82	37,93	39,95	41,78	43,02	43,67
Lagoinha	2,19	2,28	2,33	2,41	2,47	2,52	2,57	2,60
Praia Brava	0,44	0,46	0,47	0,49	0,50	0,51	0,53	0,54
Ponta das Canas	8,49	8,74	9,04	9,34	9,61	9,91	10,18	10,37
Cach. Bom. Jesus Leste	11,00	11,70	12,25	12,68	13,09	13,47	13,89	14,17
Cach. Bom Jesus Oeste	6,86	7,61	8,07	8,50	8,90	9,27	9,51	9,62
Vargem do Bom Jesus	3,53	3,85	4,07	4,26	4,44	4,62	4,74	4,84
Total	88,31	94,56	100,03	105,22	110,11	114,63	117,94	119,91

Com estes dados foram criados cenários de operação da ETE com diferentes regiões de cobertura, relacionada à área abrangida pela rede coletora em cada situação considerada. O primeiro cenário considera a situação de atendimento atual, contemplando apenas a região de Canasvieiras e Canto do Lamin. O segundo cenário considerou as etapas em execução que deverão entrar em operação em breve no SES Canasvieiras, abrangendo as regiões da Cachoeira do Bom Jesus, Praia Brava, Lagoinha e Ponta das Canas. A Tabela 18 apresenta os dados de vazão do segundo cenário. O terceiro cenário acrescenta a região de Jurerê Leste que possui parte da rede de coleta instalada, porém fora de operação, com projeto para interligação ao SES Canasvieiras. O quarto cenário considera a cobertura da região da Vargem do Bom Jesus, localizada próxima a Vila União, na margem direita e esquerda do rio Papaquara. E, por fim, o quinto cenário considera as localidades de Jurerê Oeste ou Internacional e Daniela, mais afastadas que possuíam projeto de tratamento em outra ETE, porém devido à escassez de área na região e a problemática de disposição dos efluentes, estas localidades possuem projeto de condução dos seus efluentes brutos para tratamento na ETE de Canasvieiras. A

Tabela 18 apresenta as vazões sanitárias utilizadas nas simulações dos cinco cenários criados.

**Tabela 18 Vazão sanitária em L/s para os cinco cenários**

Cenário	201 5	202 0	2025	2030	2035	2040	2045	2050
1	33,3	35,8	38,0	40,2	42,4	44,3	45,6	46,3
2	62,3	66,6	70,2	73,7	76,9	80,0	82,3	83,6
3	74,7	79,9	84,5	88,8	93,0	96,8	99,6	101,2
4	78,2	83,7	88,6	93,1	97,4	101, 4	104, 3	106,0
5	88,3	94,6	100, 0	105, 2	110, 1	114, 6	117, 9	119,9

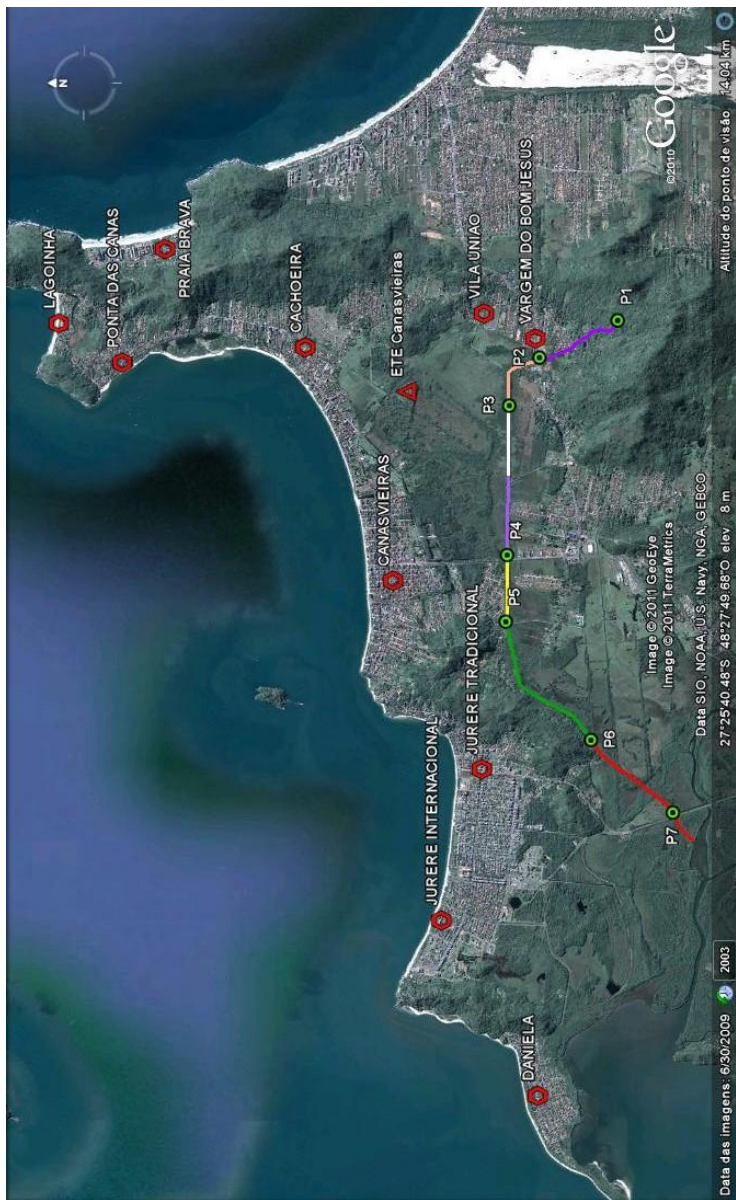
Para fins de estimativa das cargas difusas recebidas pelo Papaquara o leito do rio foi dividido em sete trechos. Os trechos estabelecidos são considerados uniformes, apresentando as mesmas características, resultantes de observações em campo do uso e ocupação do solo da região e das características referentes a capacidade de autodepuração de cada trecho.

A Tabela 19 apresenta a descrição destes trechos com sua respectiva distância e a Figura 27 apresenta a localização destes trechos no mapa. O tamanho dos trechos foi obtido com a utilização de ferramenta do software Google Earth, versão 6.

**Tabela 19: Trechos do rio Papaquara**

Trecho	d [m]	Descrição do Trecho
1	1240	Região entre o P1 e o P2 avaliados por BRETANO
2	900	Região entre o P2 e o P3 avaliados por BRETANO. Próximo ao P3 deságua o canal que recebe o efluente da ETE Vila União
3	900	Região entre o P3 avaliado por BRETANO e o canal que recebe o lançamento do efluente da ETE de Canasvieiras. Neste trecho deságuam canais que drenam parte da Cachoeira do Bom Jesus.
4	1120	Região entre o canal que recebe o efluente da ETE de Canasvieiras e o P4 avaliado por BRETANO e o C1 avaliado pela CASAN.
5	910	Região entre o P4 e o P5 avaliado por BRETANO.

6	2100	Região entre o P5 e o P6 avaliado por BRETANO.
7	1498	Região entre o P6 e o P7 avaliado por BRETANO. A região recebe canais que drenam parte de Jurerê Leste.



**Figura 27 Trechos do rio Papaguara considerados na modelagem.**

Fonte: Google Earth (2011).

## 5.2. Calibração do Modelo

A resolução do problema considera a entrada de cargas difusas ao longo do rio Papaquara de acordo com a ocupação dos diferentes trechos do rio, utilizando dados da literatura e ponderando com os valores de cabeceira para a estimativa das concentrações a fim de que os resultados obtidos pelo modelo se aproximassem da realidade observada em campo.

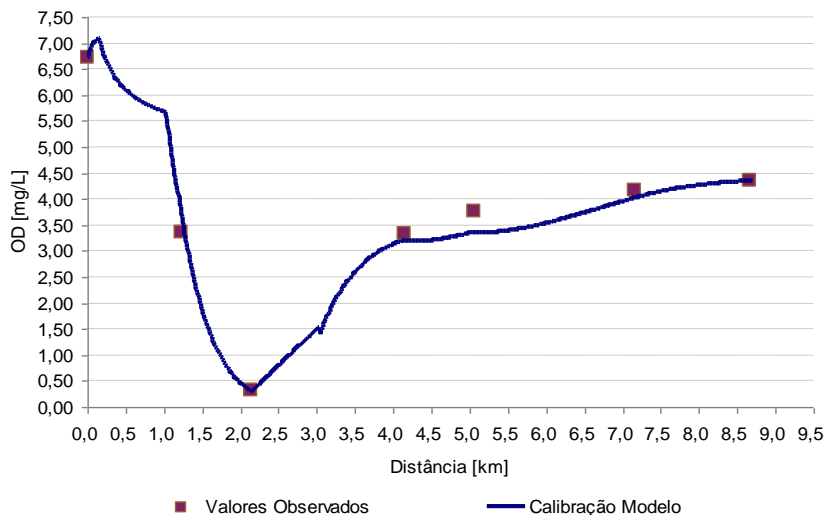
A calibração do modelo foi realizada avaliando o uso e ocupação do solo em cada trecho e as características de degradação da matéria orgânica e recomposição da concentração de oxigênio dissolvido na água comparando os resultados obtidos na simulação do cenário instalado para este constituinte com os valores descritos nas referências bibliográficas, em especial pelo trabalho de BRETANO, que avaliou todo o percurso do rio Papaquara.

As concentrações distribuídas adotadas dos constituintes da água, bem como dos coeficientes de oxigenação e desoxigenação ( $k_a$  e  $k_d$ ) considerados e calculados estão apresentados na Tabela 20.

**Tabela 20 Valores utilizados na calibração do modelo proposto por trecho**

	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4	Trecho 5	Trecho 6	Trecho 7
DBO	140	130	5	120	5	5	60
OD	3,0	0,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
N <sub>orgânico</sub>	10	10	1,0	10	1,0	1,0	5,0
N <sub>amoniaco</sub>	15	15	1,0	15	1,0	1,0	7,0
N <sub>nitrito</sub>	0,05	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	0,02
N <sub>nitrito</sub>	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
P <sub>orgânico</sub>	2,0	2,0	0,01	2,0	0,01	0,01	1,0
P <sub>inorgânico</sub>	4,0	4,0	0,01	4,0	0,01	0,01	2,0
E. Coli	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
$k_a$	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72
$k_d$	0,8	0,8	0,8	0,5	0,6	0,7	0,7

A calibração do modelo foi realizada considerando o cenário atual de vazão da ETE Canasvieiras e da ETE Vila União. A Figura 28 apresenta os pontos medidos por BRETANO e o resultado do modelo com os parâmetros descritos na Tabela 20.



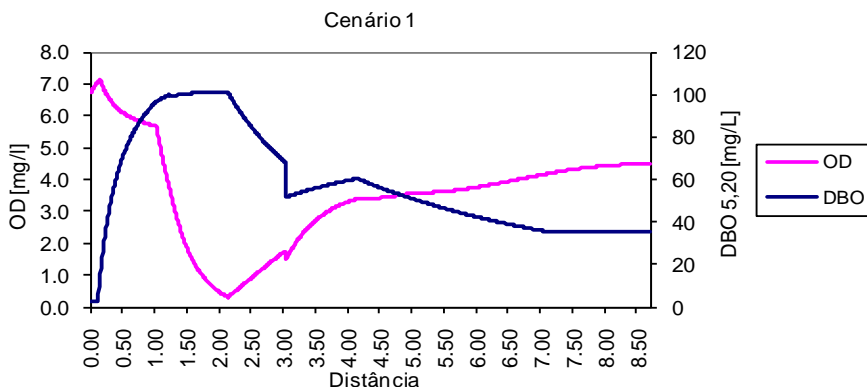
**Figura 28: Resultado da modelagem de OD (linha azul) com os dados medidos em campo (pontos vermelhos).**

A calibração realizada conseguiu retratar o grande consumo de oxigênio observado no rio Papaquara nos primeiros quilômetros, devido à ausência de coleta e tratamento de esgotos nesta região agravado pela pequena vazão do próprio curso de água. A partir do terceiro quilômetro, nas proximidades do lançamento dos efluentes tratados da ETE Canasvieiras a qualidade das águas do Papaquara vai se recuperando até atingir a sua foz no rio Ratonés.

### 5.3 Cenários Simulados

Com os valores das cargas difusas e dos coeficientes ajustados torna-se possível a criação de cenários de atendimento mediante os projetos e as obras que se encontram em execução. O primeiro cenário a ser observado é a perspectiva futura do atendimento do SES Canasvieiras com a desativação da ETE da Vila União que apresenta problemas operacionais. Neste cenário é simulada a vazão sanitária média esperada para a ETE Canasvieiras para o ano de 2050 acrescida dos 5 l/s da ETE Vila União contemplando a população da região da Tabela 17. Neste cenário os valores das cargas difusas e das constantes  $k_a$  e  $k_d$  não foram alteradas, considerando portanto apenas o crescimento vegetativo da ETE, deslocando o lançamento do efluente da ETE Vila

União para a ETE Canasvieiras, mantendo sua eficiência. A Figura 29 mostra as curvas resultantes das concentrações esperadas de Oxigênio Dissolvido e DBO, para o primeiro cenário simulado. As curvas retratam o elevado grau de contaminação com matéria orgânica (DBO, linha azul) que ocasiona o consumo de Oxigênio Dissolvido nas águas do Papaquara (OD, linha rosa) no trecho inicial, até o segundo quilômetro do rio. A partir deste ponto é observada a melhoria das condições com o decréscimo gradativo da matéria orgânica presente, expressa na forma de DBO e a recuperação tímida das concentrações de Oxigênio Dissolvido. Nas proximidades do terceiro quilômetro do Papaquara pode ser observada a descontinuidade nas duas linhas que representa o lançamento dos efluentes tratados na ETE de Canasvieiras.

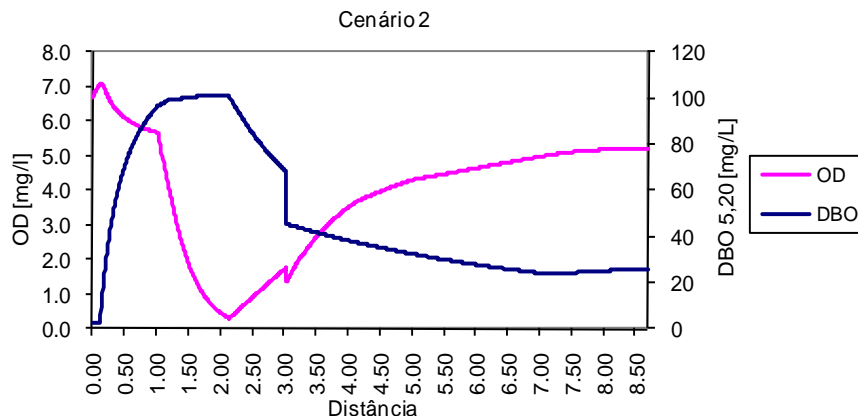


**Figura 29: Resultado da modelagem aplicada ao cenário 1 da ETE de Canasvieiras.**

O segundo cenário proposto contempla o incremento da vazão da ETE Canasvieiras com a implantação da rede coletora da região da Cachoeira do Bom Jesus, Ponta das Canas e Praia Brava, conforme projeto da CASAN. Neste cenário não foram alteradas as constantes  $k_a$  e  $k_d$ , porém foram realizadas modificações nas cargas difusas adequando o cenário simulado as condições de coleta de esgotos na região da Cachoeira do Bom Jesus. Esta coleta simulada adequou os valores de DBO difusa no trecho 4 que recebe canais de drenagem oriundos da região atendida neste cenário. A Figura 30 apresenta os resultados obtidos no segundo cenário proposto.

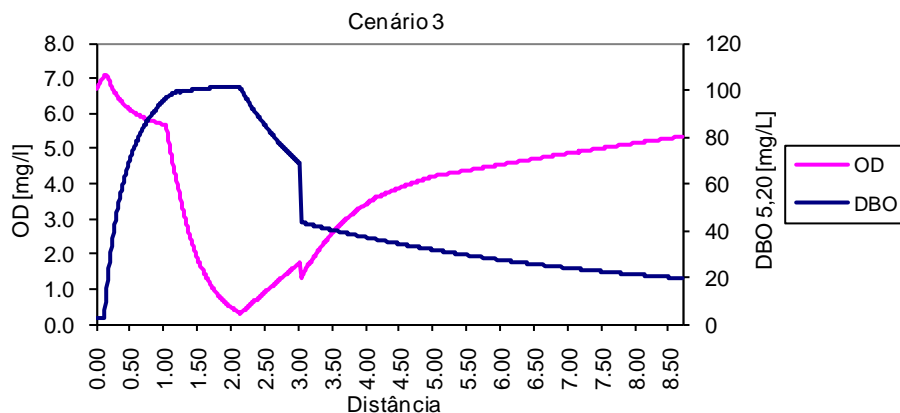
Em comparação ao cenário 1 esta simulação apresentou melhorias na recuperação das concentrações de OD a partir do ponto de lançamento do efluente tratado na ETE de Canasvieiras (próximo a

marca dos 3 km) com o comportamento da curva tendendo a valores maiores de Oxigênio e menores de matéria orgânica.



**Figura 30: Resultado da modelagem aplicada ao cenário 2.**

O terceiro cenário proposto acrescenta a vazão sanitária da UEP de Jurerê Leste, o que corresponde ao bairro de Jurerê Tradicional, que atualmente possui rede de esgotos implementada, porém fora de operação. Neste cenário a DBO distribuída inserida no trecho 7, que recebe alguns canais que drenam esta região, foram corrigidas com valores propostos para locais sem contribuição de esgotos domésticos. A Figura 31 apresenta os resultados obtidos no terceiro cenário proposto.

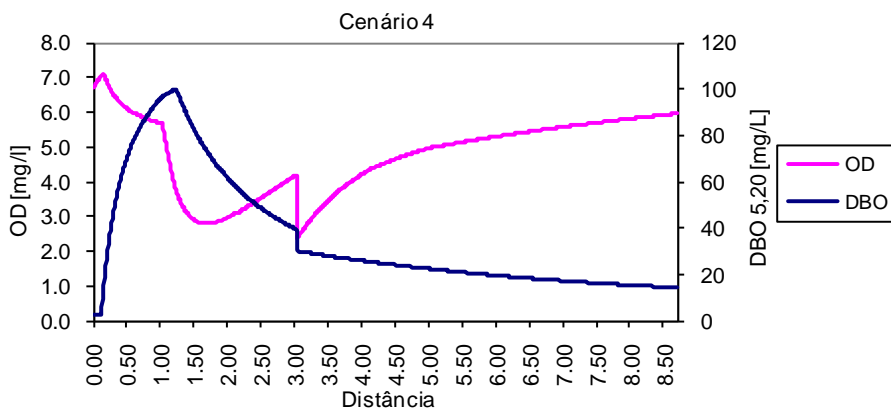


**Figura 31: Resultado da modelagem aplicada ao cenário 3.**



Neste cenário o comportamento foi semelhante ao observado no cenário 2, sendo que apenas no trecho final, situado entre os quilômetros 7,5 e 8,5 pode ser verificado o aumento das concentrações de Oxigênio Dissolvido devido a retirada das cargas difusas do ultimo trecho. A descontinuidade observada no terceiro quilômetro, referente ao lançamento dos efluentes tratados na ETE Canasvieiras, não sofreu alteração significativa devido ao pequeno incremento de vazão deste cenário. Esta simulação aponta para uma pequena melhoria das condições de chegada do rio Papaquara até sua desembocadura no rio Rationes.

O quarto cenário proposto avalia o efeito da coleta de esgotos da região da Vargem do Bom Jesus, região localizada próxima ao cruzamento do rio Papaquara com a estrada que liga Canasvieiras aos Ingleses e seu respectivo tratamento na ETE de Canasvieiras. Esta região é responsável pelo incremento da DBO distribuída ao longo dos trechos iniciais do rio Papaquara. Neste cenário são as concentrações dos constituintes das águas dos canais de drenagem do trecho 2 foram ajustadas para valores compatíveis com os das regiões providas de coleta e de tratamento de esgotos sanitários. A Figura 32 apresenta os resultados obtidos no terceiro cenário proposto.

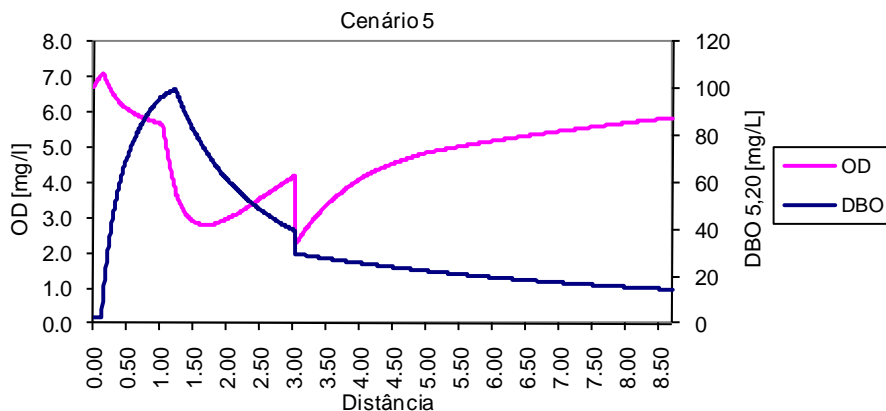


**Figura 32: Resultado da modelagem aplicada ao cenário 4.**

Nesta simulação o comportamento do trecho entre os quilômetros 1,5 e 3,0 apresentou evolução quando comparado com os cenários anteriores, motivado pela retirada das cargas difusas da região da Vargem do Bom Jesus. Nesta condição os valores de Oxigênio Dissolvido se recuperam antes do lançamento dos efluentes pela ETE de

Canasvieiras e o Rio Papauqara não atinge limites tóxicos deste parâmetro. A descontinuidade na curva devido ao lançamento dos efluentes na estação se torna mais evidente, porém a recuperação das concentrações de OD ocorre de forma semelhante aos cenários anteriores, porém atingindo valores maiores na desembocadura do Papauqara no rio Ratonos. As concentrações de DBO na desembocadura também diminuem o que comprova a melhoria da condição ambiental nesta situação.

O quinto cenário considera o acréscimo das vazões oriundas dos balneários de Jurerê Oeste e Daniela. A Figura 33 apresenta os resultados obtidos no quinto cenário proposto



**Figura 33: Resultado da modelagem de DBO aplicada ao cenário 5.**

No último cenário proposto a alteração observada ocorre a partir do lançamento dos efluentes tratados na ETE Canasvieiras oriundos de Jurerê e Daniela. Para esta simulação o comportamento do trecho entre o ponto de lançamento até a foz do Papauqara foi bastante semelhante com as concentrações de OD se recuperando após o lançamento do efluente pela ETE e os valores de DBO na foz apresentando valores inferiores a 20 mg/L.

Após a simulação de todos os cenários foram realizadas avaliações da qualidade esperada para a mistura das águas do rio Papauqara, em seu exutório, com as águas do rio Ratonos.

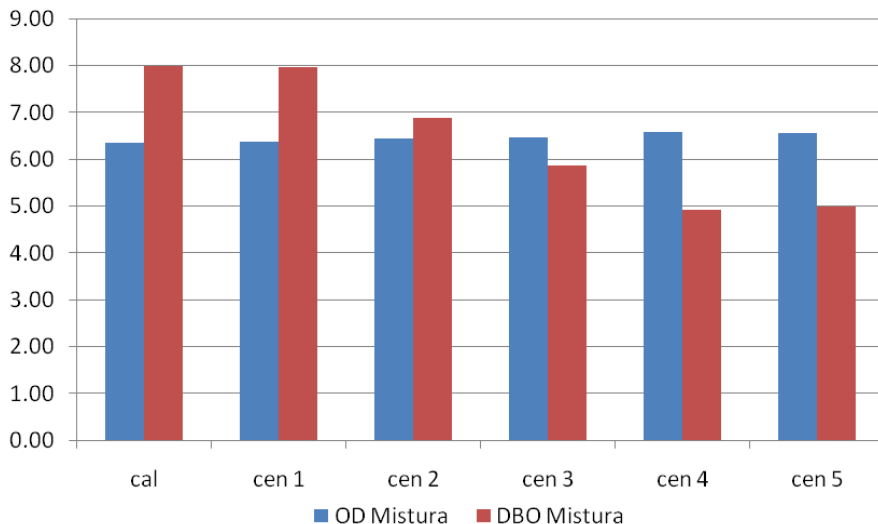
Para cada cenário é apresentado na Tabela 21, os valores de Oxigênio Dissolvido e DBO previstos pelo modelo no final do rio Papauqara.

**Tabela 21: Concentrações esperadas para o exutório do rio Papaquara**

Cenário	OD Fim do Trecho [mg/L]	DBO Fim do Trecho [mg/L]
Calibração	4,35	37,1
1	4,50	35,5
2	5,21	26,1
3	5,34	19,5
4	5,96	14,2
5	5,88	14,3

Aplicando uma equação de mistura para as águas dos dois rios, utilizando as vazões médias de longo termo obtidas na Tabela 13, considerando as condições de nascente de DBO e OD medidas no P1 de BRETANO et al podemos estimar a concentração destes constituintes na mistura das águas, podendo assim avaliar o possível impacto do deságüe das águas do Papaquara no rio Ratonos nos domínios da Estação Ecológica (ESEC) dos Carijós.

A Figura 34 apresentam os resultados da aplicação da equação da mistura ideal das águas dos rios Ratonos e Papaquara para os parâmetros oxigênio dissolvido e DBO.



**Figura 34: Resultados esperados de OD e DBO para a mistura das águas dos rios Ratonés e Papaquara.**

Pode ser verificado o comportamento ligeiramente crescente da concentração de Oxigênio Dissolvido (barras azuis) ao longo dos cenários simulados e o comportamento decrescente das concentrações de DBO (barras vermelhas). As concentrações obtidas após a mistura indicam que depois do recebimento das águas do Papaquara o Rio Ratonés mantém a condição do parâmetro Oxigênio Dissolvido dentro dos padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para corpos de água salobra classe 1, sempre superior a 5,0 mg/L.

#### 5.4 Comparação dos Cenários

Os valores médios observados por BRETANO informam que a qualidade do rio Papaquara em uma das suas nascentes (P1) pode ser considerada muito boa. Assim que o leito do rio, já retificado, passa pela comunidade residente nas proximidades da rodovia de acesso aos Ingleses (P2) e pela comunidade da Vila União a qualidade da água decai significativamente, o que pode ser observado mais diretamente nos valores das análises de DBO e OD. Nesta região os valores de DBO e OD atingem respectivamente seus máximos e mínimos observados.

A partir deste ponto os efeitos das marés começam a ser mais fortemente observados com os valores de salinidade crescendo à medida

que o curso do rio se aproxima da foz. Após o ponto (P3) os valores de DBO começam a diminuir, e os valores de OD começam e se recuperar.

É verificado um aumento nos valores médios da DBO na foz do Papaquara (P7) quando comparado aos valores do Canto do Lamin (P6). Isso pode ser explicado pela interferência de material carreado em fluxo contrário, no sentido do manguezal do Ratones para o rio Papaquara, e pela contribuição do rio da Palha ou Macacos que penetra no leito do rio Papaquara entre estes dois pontos.

Observando os resultados da salinidade pode-ser verificado claramente um represamento das águas continentais na bacia do rio Ratones em certos períodos, podendo gerar também, em períodos de seca, entrada da água do mar nos rios da região, aumentando a quantidade de água disponível para a diluição dos efluentes.

Analisando os valores obtidos pela CASAN, pode ser observada uma grande contribuição de DBO, observada na localidade de Vila União, condição essa que pode ser comprovada correlacionando estes com os dados de BRETANO que apresenta elevada concentração de DBO na região logo a jusante do ponto de encontro das águas do Papaquara com o canal de drenagem que recebe o efluente da ETE Vila União.

O ponto de monitoramento da CASAN no rio Papaquara (C1), apresenta valores da mesma ordem de grandeza para os parâmetros OD, Coliformes Termotolerantes, Salinidade, pH e Temperatura em comparação aos medidos por BRETANO (2008) em seu P4.

Os valores de DBO apresentaram grande diferença, provavelmente devido ao maior esforço amostral do monitoramento da CASAN, que em valores médios se apresentou menor, o contrario ocorreu com o parâmetro Fosfato, que apresentou maiores valores no monitoramento da CASAN.

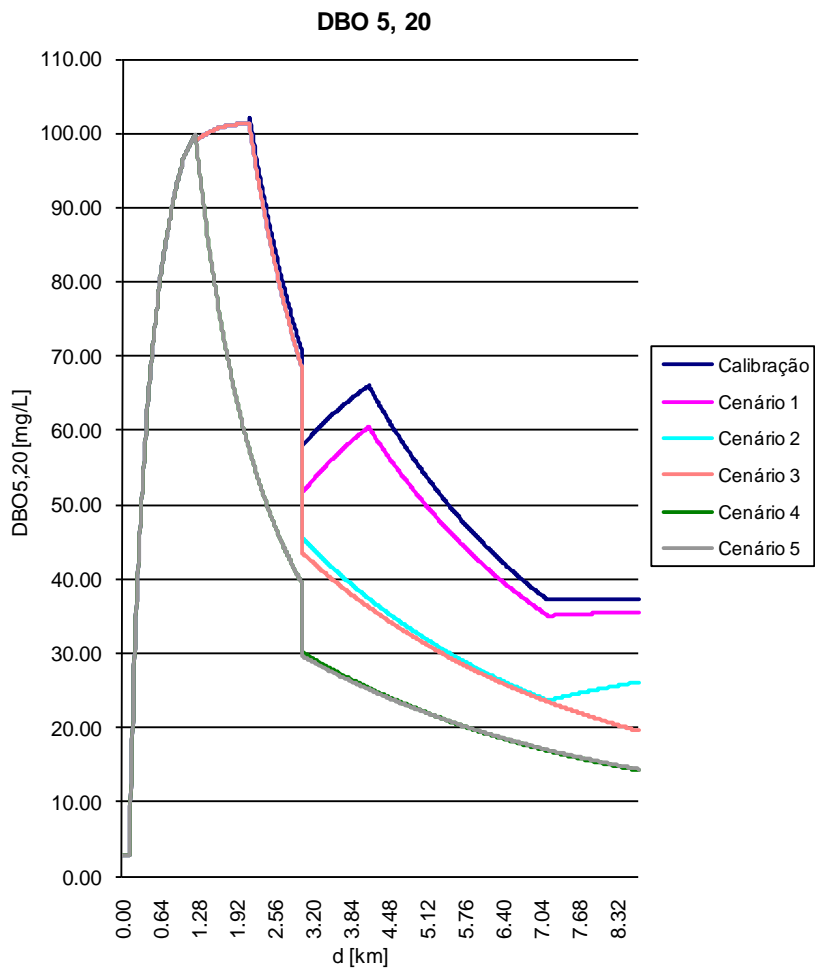
Os valores encontrados nos diferentes trabalhos para os mesmos pontos apenas indicam a ordem de grandeza de alguns parâmetros e permitem avaliações qualitativas entre os pontos. Essas diferenças são esperadas haja vista a variação de esforço amostral realizado por cada fonte associadas aos comportamentos sazonais distintos e as modificações das condições normalmente observadas ao longo dos anos, porém os dados da CASAN tendem a ser mais representativos por cobrirem todo o ciclo anual contemplando as variações derivadas do efeito da sazonalidade.

Os resultados da modelagem dos cenários apontaram para a melhoria da qualidade das águas do rio Papaquara com o aumento da cobertura de coleta e tratamento dos esgotos da região.

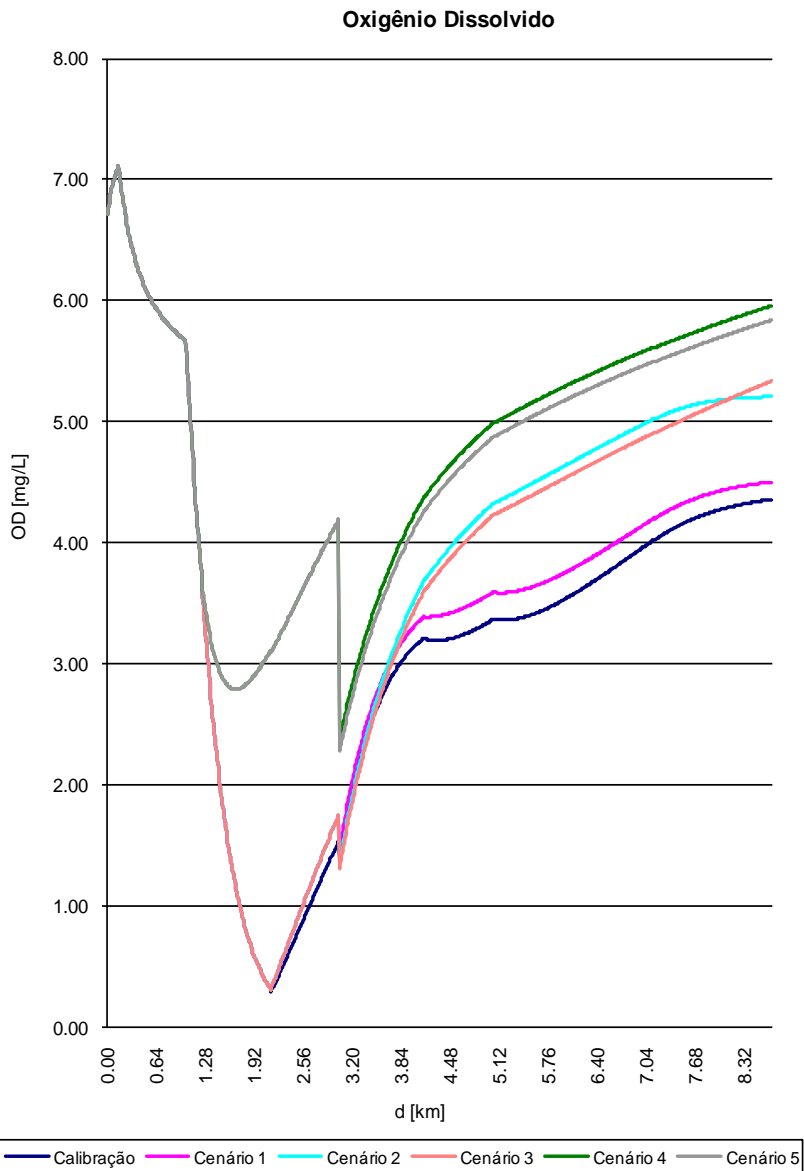
Pelos resultados obtidos são de extrema importância a coleta e o tratamento dos esgotos para promover a retirada das cargas difusas que vão adentrando as águas do rio Papaquara. Esta retirada das cargas associadas ao tratamento dos esgotos realizado de forma eficiente melhora significativamente as condições do Papaquara em especial para o parâmetro oxigênio dissolvido.

Nos cenários 4 e 5 modelados, onde ocorre a coleta e o tratamento dos esgotos da região da Vargem do Bom Jesus (região nas proximidades do P2 e P3 de BRETANO), as cargas difusas do segundo trecho são retiradas e os níveis de oxigênio dissolvido no Papaquara não chegam a atingir níveis tóxicos (2,00 mg/L), sendo de extrema importância a coleta e o tratamento dos esgotos nesta região para a melhoria da qualidade das águas do rio.

Na transição entre os cenários 4 e 5 não é observada melhoria ao longo do curso do rio devido ao fato de não existir nenhuma retirada de carga entre estes cenários, já que as bacias contempladas com coleta dos esgotos no cenário 5 não tem suas águas drenadas para o rio Papaquara, porém estas cargas difusas deverão ser retiradas do leito do rio Ratoles a jusante da desembocadura do Papaquara. Vale salientar que em termos de qualidade das águas, a transição entre os cenários 4 e 5 é bastante sutil com as curvas da DBO simuladas praticamente sobrepostas e as curvas de oxigênio dissolvido apresentando pequenas diferenças com melhores resultados observados no cenário 4, conforme pode ser observado na Figura 36 que apresenta a comparação dos cenários para o parâmetro OD simulado em todos os cenários propostos e na condição atual. A Figura 35 apresenta a comparação dos cenários para o parâmetro DBO simulado em todos os cenários propostos e na condição atual.



**Figura 35: Resultados observados para DBO nos diferentes cenários simulados**



**Figura 36: Resultados observados para Oxigênio Dissolvido nos diferentes cenários simulados**

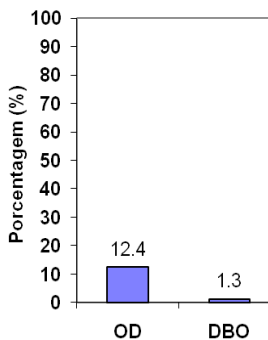


Nenhum cenário modelado, com aumento das vazões de esgotos tratados na região piora a situação atual do Papaquara, pelo contrário, todos os cenários apresentaram melhoras, sendo que quanto maior a coleta de esgotos, sendo os mesmos lançados tratados no rio Papaquara, melhor a qualidade esperada para as águas do rio.

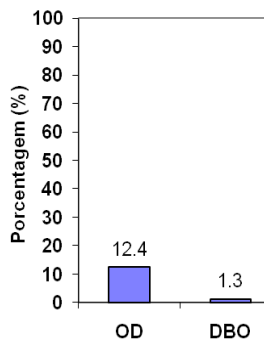
Ao longo de todo o trecho estudado no Papaquara apenas na nascente o rio apresenta DBO inferior a 5,00 mg/l. Estas concentrações são esperadas dada a grande ocupação das margens do rio e a alta urbanização da região. Em todos os cenários simulados esta condição não muda.

Quanto às concentrações de OD grandes variações são esperadas, sendo que nos melhores cenários (cenário 4 e 5), mais de 50% do Papaquara apresenta valores de OD maiores que 5,00 mg/l. No cenário atual apenas 12,4% do trecho possui OD com valores maiores que 5,00 mg/l.

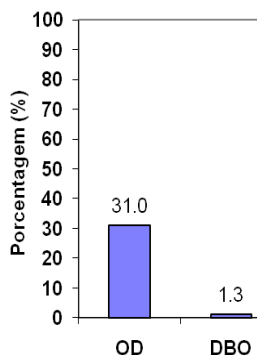
Nas figuras 37 a 42 apresentam o percentual de atendimento aos padrões para rios de classe 2 do rio Papaquara nos cenários simulados. Para estes padrões os valores para OD e DBO devem ser maiores que 5,00 mg/l.



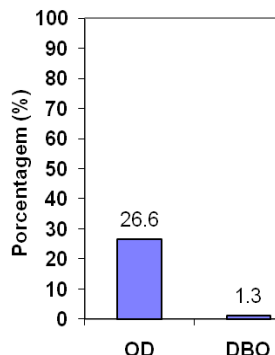
**Figura 37: Cenário de Calibração**



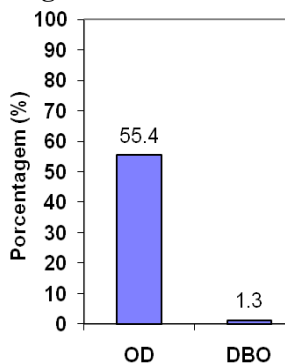
**Figura 38: Cenário 1**



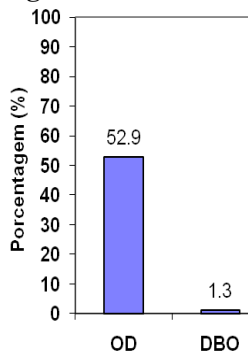
**Figura 39: Cenário 2**



**Figura 40: Cenário 3**



**Figura 41: Cenário 4**



**Figura 42: Cenário 5**

Em todos os cenários simulados, considerando que o rio Ratores mantém a condição de cabeceira semelhante à condição do Rio Papaquara, o rio Ratores não é impactado pelo deságüe das águas do Papaquara. Essa afirmação vale se o Ratores mantiver a condição de cabeceira. O deságüe do rio Papaquara no rio Ratores nos cenários modelados não causa grandes variações na concentração de oxigênio dissolvido do Ratores, mantendo os valores sempre acima dos padrões esperados para rios salobros de classe 1, acima de 5,00 mg/l.

Os valores de DBO na mistura apresentaram maiores variações, com valores esperados menores que 5,00 mg/l apenas nos cenários 4 e 5 que contemplam com coleta e tratamento de esgotos a região de Jurerê Leste ou Tradicional.

## 6. Conclusões

O presente trabalho indica que a qualidade atual das águas do rio Papaquara é bastante crítica e que a coleta e tratamento dos esgotos das regiões das UEPs que deverão ser atendidas pelos cenários elaborados para a ETE Canasvieiras não piora a qualidade das águas do rio. O pior cenário (cenário 1) apresenta condições iguais em termos de percentuais de atendimento aos padrões ambientais em comparação cenário atual, utilizado para a calibração do modelo.

A implementação do modelo calibrado com a adição de cargas difusas e pontuais, de acordo com as características de uso e ocupação do solo nas diferentes regiões definidas ao longo do curso do rio, associadas aos cenários de atendimento da população com esgotos tratados mostrou que o crescente atendimento as localidades, previstas para a região, associado à retirada das cargas difusas ao longo do curso do rio resulta em maiores níveis de conformidade do parâmetro Oxigênio Dissolvido, ao longo do trajeto do rio Papaquara. Esta condição se mantém nas previsões realizadas para a mistura das águas do Papaquara com o rio Ratonas, considerando que este deve chegar em condições preservadas na foz do Papaquara, com características de qualidade da água semelhantes a observada nos dados de cabeceira levantados nas referências deste trabalho.

Com o aumento progressivo da cobertura de coleta e tratamento dos esgotos, simuladas nos cenários 2, 3, 4 e 5 o rio Papaquara vai, gradativamente, tendo suas cargas difusas retiradas do curso de água. Este fato pode ser observado com mais clareza analisando os resultados da DBO apresentados. Estas diminuições nas cargas difusas ao longo dos cenários vão dando melhores condições para a recuperação ambiental do rio. Esta melhoria das condições ambientais prognosticadas indica que a execução do serviço de coleta e tratamento do esgoto, além de um importante obra de saúde pública e infraestrutura urbana também se apresenta como uma medida que minimiza e mitiga parte dos impactos ambientais gerados pela ocupação humana em um ambiente bastante sensível, como o caso em análise.

Observa-se através dos cenários simulados que, mesmo coletando e tratando os esgotos de toda a região o rio Papaquara não consegue atingir valores legais esperados para a DBO após o lançamento dos efluentes da ETE Canasvieiras. Mesmo antes deste lançamento, a ocupação das margens do rio já torna estes padrões em desacordo com o proposto na Resolução CONAMA 357/2005, e o próprio ponto analisado na nascente já se apresenta próximo ao limite

estabelecido neste instrumento legal. Estes valores de DBO podem ser desprezados, caso as concentrações de Oxigênio Dissolvido consigam atingir sua meta, conforme aponta o mesmo instrumento legal. De certa forma este resultado é esperado, haja vista a grande densidade de casas e a ocupação dada atualmente para a bacia hidrográfica, típica de um curso da água de caráter estritamente urbano. Fica tecnicamente inviável o atendimento das metas ambientais previstas em lei para os usos mais nobres em um curso de água com estas características, sem o deslocamento dos moradores, o que hoje pode ser considerado inviável. Estes rios devem ser preservados a fim de garantir usos importantes em ambientes urbanos, tais como a drenagem eficiente destas bacias de forma a evitar eventos de enchentes, o conforto ambiental e a harmonia paisagística, importantes especialmente em áreas turísticas. O enquadramento destes cursos deve sempre considerar estes usos, que são possíveis de ser dados a rios que atravessam ambientes desta natureza, com elevado grau de urbanização.

Torna-se evidente que ao adentrar em áreas legalmente protegidas, tais como Unidades de Conservação (UCs), e regiões adjacentes com usos mais nobres, tais como praias balneárias, estes cursos de água não deverão afetar estas áreas reconhecidamente mais sensíveis, devendo o poder público dar condições para que as metas para usos desejados, nestas regiões destinadas a proteção ambiental, sejam atendidas. Estas condições devem ser dadas através de ações de restrição de uso e ocupação das áreas ou ações que objetivem a minimização e a mitigação das fontes de poluição presentes. Dentre as ações que visam minimizar o impacto causado pela ocupação urbana, a coleta e tratamento dos esgotos domésticos gerados pelos habitantes destas áreas sensíveis se mostram como eficiente do ponto de vista ambiental. Todavia os resultados deste trabalho mostram que as cargas difusas não controladas causam grande parte dos problemas de qualidade dos recursos hídricos observados nos ambientes urbanos. Desta forma, as ações, que visam à retirada da poluição difusa, devem ser devidamente acompanhadas pelas autoridades sanitárias e ambientais com ações fortes de fiscalização, educação e, principalmente, conscientização ambiental, sob risco de, mesmo com grandes aportes de recursos para investimentos na coleta e no tratamento dos esgotos, não serem obtidos os resultados ambientais desejados e esperados pela sociedade.

Fica claro que, mesmo não atingindo os valores legais dos parâmetros modelados em toda a sua extensão, a melhora da qualidade da água do Papaquara é um objetivo atingido pela implantação das obras. Essa melhora é gradativa e ocorre paulatinamente, à medida que

a rede de coleta dos esgotos vai aumentando, e a melhoria da qualidade da água do Papaquara deve ser perseguida de forma observar em primeiro momento esse aumento da coleta e tratamento dos esgotos, seguida de atividades de fiscalização para a retirada das cargas difusas após a rede de coleta implantada e posteriormente, caso os usos do rio sejam comprometidos poderão ser previstas ações de remediação no próprio rio, com a implantação de equipamentos que permitam a recuperação da capacidade de autodepuração do rio, com a eventual reconstituição de alguns meandros, a dragagem constante do material de fundo a fim de evitar a ressuspensão do material sedimentado ao longo dos anos, além da constante manutenção das condições de escoamento da rede de macro drenagem instalada.



## **7. Sugestões para Próximos Trabalhos**

Como sugestões para próximos trabalhos na área em questão poderão ser realizadas campanhas de medição de vazão no rio Papaquara para validar os parâmetros das equações de estimativa de velocidade e de  $k_a$  utilizadas no modelo, adequando estes valores a região em questão.

A avaliação e a modelagem dos nutrientes na área com calibração dos valores observados em campo para a área em questão.

Durante a execução deste trabalho estava sendo realizada pela prefeitura municipal de Florianópolis a abertura das valas para desassoreamento dos canais de drenagem da bacia do Papaquara. Estas obras poderão causar alterações nas características de fluxo das águas na região, alterando a velocidade das águas e as condições de depuração do corpo hídrico. Também foi realizada durante este trabalho a retirada das moradias das margens do Papaquara.

Posteriores trabalhos avaliando dados de vazão medidos na saída da estação após a ampliação da rede coleta de esgotos na região cruzando estes dados com características sazonais como o caso da população flutuante da região em época de veraneio poderá ser realizado visando à ampliação do espectro deste trabalho, conduzindo a resultados mais próximos as diversas realidades encontradas na região. Estes estudos poderão ser conduzidos com a realização de medições simultâneas da qualidade e da vazão do efluente e dos diferentes pontos do rio além da qualidade da água do rio Ratones.





## 8. Referências Bibliográficas

- **ALÉM SOBRINHO, P. Processos de Tratamento de Esgoto no Litoral Paulista – Pré Condicionamento para Disposição Oceânica. Emissários Submarinos – Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento.** São Paulo. SMA, 2006.
- **BRASIL. Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357, de 17 de março de 2005.** Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 de março de 2005.
- **BRETANO, D. M.; CHAVES, E. S.; VICTORETTE, T. W. D. B.; SANTOS, B. S.. Avaliação da qualidade da água do Rio Papaquara no entorno da Estação Ecológica de Carijós, Município de Florianópolis/SC.** Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Estação Ecológica de Carijós, Florianópolis, SC, outubro de 2008.
- **CAMPANÁRIO, P. Florianópolis: dinâmica demográfica e projeção da população por sexo, grupos etários distritos e bairros (1950 – 2050).** Florianópolis. IPUF, 2007.
- **CHAPRA, S.C., PELLETIER, G. J., TAO, H. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.11: Documentation and Users Manual.** Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA, 2008.
- **CORBITT, R. A. Standard Handbook of Environmental Engineering.** 2 Ed. New York. McGraw Hill, 1998.
- **FIDÉLIS FILHO, N. L. Uma Abordagem sobre as Profundas Modificações na Morfometria Fluvial da Bacia Hidrográfica do Rio Ratores – Florianópolis/SC, num Período de Quarenta Anos, e Suas Consequências.** Dissertação de Mestrado. PPGEA. Florianópolis. UFSC, 1998.

- **FLORIANÓPOLIS/SC. Plano Municipal de Habitação de Interesse Social: Inserção Regional e Características do Município.** Prefeitura Municipal de Florianópolis. Secretaria de Habitação e Saneamento. Florianópolis, SMHS, 2009.
- **FUNKE, D. Programa de Revitalização do Rio Ratonos – Projeto de Desassoreamento do Rio Ratonos – Termo de Referência EIA/RIMA para Projeto de Desassoreamento.** Florianópolis. FLORAM, 2009.
- **JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos.** 3ª Edição. Rio de Janeiro. ABES, 1995.
- **LEMOES L. F. Análise das Leis, Normas e Técnicas de Disposição Final dos Efluentes Tratados na Ilha de Santa Catarina: Estudo de Caso Bacia do Rio Ratonos.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. UFSC. Florianópolis, 2005.
- **METCALF & EDDY. Inc. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse.** New Delhi, India: Tata McGraw Hill, 1979.
- **ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. Introdução a Química Ambiental.** Porto Alegre. Bookman, 2004.
- **SANCHES, L.; CHERNICARO, C. A. L.; VON SPERLING, M.; PENA, R. T. Avaliação da operação em regime hidráulico transiente de reator UASB e filtros anaeróbios.** Belo Horizonte. UFMG.  
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/peru/bratar238.pdf> acessado em 13/03/2011
- **SOCIOAMBIENTAL CONSULTORES ASSOCIADOS LTDA. Estudo de Impacto Ambiental – Relatório de Impacto Ambiental Empreendimento Sapiens Parque.** Volume V. Florianópolis, 2004.
- **SCIMIDELL, W.; SOARES, H. M.; ETCHEBERRE, C.; MENES, R. J.; BERTOLA, N. C.; CONTRERAS, E. M.;**

**Tratamento Biológico de Águas Residuárias.**

Florianópolis: [S.n.], 2007. 720 p.

- SOARES, H. M. **Apostila Tratamento de Efluentes.** Florianópolis. UFSC/EQA, 2007.
- TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos.** 2ª edição ampliada e revisada. Porto Alegre. UFRGS, 2005.
- TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L.; et al. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 4a edição. Porto Alegre. UFRGS/ABRH, 2009.
- VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas a ao Tratamento de Esgoto.** 2 ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996. 243 p.
- VON SPERLING, M. **Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rios.** Belo Horizonte. UFMG, 2007.
- <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/60245Jan2011.htm> acessado em 7/1/2011
- [http://geo.pmf.sc.gov.br/geo\\_fpolis/](http://geo.pmf.sc.gov.br/geo_fpolis/) acessado em 26/03/2011
- <http://www.h2owell.com/images/hydrologic-cycle-big.png> acessado em 5/3/2011
-